

Politechnika Krakowska

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

ul. Warszawska 24

31-155 Kraków

## **Recenzja**

### **Rozprawy doktorskiej mgr inż. Dominiki Karpińskiej**

#### **Analiza uwarunkowań czasowej i przestrzennej zmienności zanieczyszczenia światłem w obszarach zurbanizowanych na przykładzie Torunia**

Recenzja została opracowana na zlecenie rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu z dnia 27.06.2023 roku.

#### **1. Celowość podjęcia tematu.**

Przedłożona do recenzji praca dotyczy zagadnienia zanieczyszczenia światłem sztucznym w porze nocnej w obszarach zurbanizowanych. Prawidłowe nocne oświetlenie przestrzeni miast i miejscowości jest dużym wyzwaniem w dzisiejszych czasach. Stosowane źródła światła, w szczególności lampy uliczne, powinny cechować się odpowiednim natężeniem użytego światła, jego prawidłowym ukierunkowaniem i lokalizacją, tak, aby nie przyczyniały się do potęgowania zjawiska zanieczyszczenia światłem. Ten rodzaj zanieczyszczenia środowiska naturalnego można zdefiniować jako ogół szkodliwych zjawisk wiążących się ze stosowaniem przez ludzkość sztucznego światła, w nieodpowiednich do tego porach, miejscach oraz natężeniach. Wykazano, że nadmiar sztucznego oświetlenia w nocy jest szkodliwy i wywołuje szereg negatywnych skutków zarówno dla człowieka, jak i całej przyrody ożywionej. Innym zagadnieniem rozpatrywanym w aspekcie ochrony przed zanieczyszczeniem światłem jest wprowadzanie prawidłowo skonstruowanych źródeł światła w miejscach niedoświetlonych, w których niezbędne jest zapewnienie poczucia bezpieczeństwa w nocy.

Jak obszar badawczy Doktorantka wybrała Toruń. Jest to miasto na prawach powiatu, położone w północnej Polsce, jedna z dwóch stolic województwa kujawsko-pomorskiego. Toruń jest dużym ośrodkiem gospodarczym i handlowym, jak również ważnym węzłem

drogowym i kolejowym. Pod Toruniem działa Pomorska Specjalna Strefa Ekonomiczna. Jest również ośrodkiem akademickim, naukowym, kulturalnym i turystycznym. Wszystkie te czynniki sprawiają, że jest to miasto silnie oświetlone w nocy, zarówno poprzez oświetlenie uliczne, jak też reklamowe czy iluminację licznych zabytków. W efekcie jest ono bardzo dobrym laboratorium pozwalającym na badanie zjawiska zanieczyszczenia światłem.

Celem pracy Doktorantki było zbadanie i analiza czasowej i przestrzennej zmienności zanieczyszczenia sztucznym światłem na badanym obszarze. W celu jego realizacji opracowała system monitoringu zanieczyszczenia światłem na obszarze Torunia. W tym celu założona została sieć pomiarowa, składająca się z automatycznie działających autorskich urządzeń mierzących powierzchnię jasność nocnego nieba. W związku z tym, że urządzenia te posiadają autonomiczne zasilanie, można je umieścić w dowolnym punkcie analizowanego obszaru. Co więcej, zastosowanie technologii sieci LoRaWAN umożliwia zdalne pobieranie danych pomiarowych on-line.

Praca doktorska jest interdyscyplinarna, w celu jej realizacji Doktorantka połączyła podstawy elektroniki, statystyki, meteorologii oraz fotometrii. Wykonane zostały mapy rozkładu przestrzennego jakości sygnału na terenie kampusu uniwersyteckiego Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu i jego okolic. Określony został wpływ zabudowy oraz innych przeszkód terenowych na możliwość prawidłowego połączenia urządzenia z bramą komunikacyjną. Rezygnując z gotowych, dostępnych na rynku fotometrów typu SQM czy TESS, Doktorantka opracowała autorskie urządzenie, fotometr oparty na czujniku TSL2591. Skonstruowanie kilku tego typu fotometrów i wykorzystanie sieci LoRaWAN umożliwiło monitoring jasności nocnego nieba jednocześnie w wielu punktach pomiarowych. Wykazano zgodność tak otrzymanych wyników z danymi otrzymanymi przy pomocy fotometrów typu SQM.

Doktorantka wykorzystwała również skonstruowany przez siebie fotometr zamontowany na pokładzie bezzałogowego statku powietrznego („drona”) do wykonania unikalnych pomiarów zmian wertykalnych jasności łuny świetlnej nocnego nieba w funkcji wysokości nad powierzchnią ziemi. Należy podkreślić, że metoda ta oraz otrzymane wnioski umożliwiają pomiar tego czynnika na obszarach oświetlonych przez gęsto rozmieszczone lampy uliczne, gdzie jest on niemożliwy do wykonania z powierzchni ziemi. To samo dotyczy terenów gęsto zabudowanych bądź zadrzewionych, gdzie przeszkodą w pomiarach naziemnych są ściany budynków czy roślinność. Możliwość wzniesienia się powyżej tych elementów zakłócających pomiar jest bezcenna – uważam to za jedno z najistotniejszych osiągnięć Doktorantki.

Doktorantka poruszyła również niezwykle istotne zagadnienie wpływu zachmurzenia na jasność nocnego nieba. O ile rozjaśnienie bezchmurnego nieba ma wpływ w zasadzie wyłącznie na obserwacje astronomiczne, to w przypadku nieba zachmurzonego efekt ten jest znacznie wyraźniejszy, przez co ma niewątpliwy wpływ ekologiczny na środowisko naturalne, w tym na zdrowie ludzi. Szkoda jedynie, że przeanalizowano wyłącznie wpływ wysokości podstawy chmur na jasność nocnego nieba, nie analizując wpływu ich rodzaju na ten czynnik. Należy podkreślić, że tego typu badania Doktorantka przeprowadziła nie tylko na obszarze Torunia, lecz również w kilku założonych przez siebie terenowych stacjach monitoringu.

Bardzo cenna jest analiza zmienności sezonowej badanego czynnika, zwłaszcza w aspekcie zanieczyszczenia atmosfery pyłami zawieszonymi w okresie grzewczym. Problem ten jest niezwykle istotny – metodyka pomiarowa zaproponowana przez Doktorantkę może umożliwić ocenę poziomu tzw. „smogu” w okresie zimowym. Możliwe, że jest to rozwiązanie mniej kosztowne niż stworzenie analogicznej sieci stacji pomiarowych pyłów zawieszonych (PM10 i PM2,5).

Wyniki przeprowadzonych badań zostały zwizualizowane poprzez stworzenie niezwykle czytelnych map, ukazujących rozkład badanego zjawiska w terenie. Wizualizację tę uważam za jeden z istotniejszych efektów pracy, zwłaszcza w aspekcie upubliczniania wyników badań w społeczeństwie, w szczególności we władzach samorządowych, odpowiedzialnych za oświetlenie podległych im obszarów.

Doktorantka nadal rozwija skonstruowaną przez siebie sieć. W chwili obecnej w bezprzewodowej sieci monitoringu zanieczyszczenia światłem pracują w pełni operacyjne już 22 urządzenia własnej konstrukcji, 5 bram dostępowych (w tym 3 zewnętrzne oraz 2 wewnętrzne) oraz 3 fabryczne fotometry SQM-LU, zamontowane w celach porównawczych. Trwają prace nad udoskonaleniem urządzenia pomiarowego rejestrującego zanieczyszczenie sztucznym światłem. Zaprojektowany został jego nowy model. Co istotne, nowe urządzenie posiada możliwość rozbudowy układu rejestrującego o nowe czujniki środowiskowe. Wiosną 2023 roku złożony został do Urzędu Patentowego RP wniosek o udzielenie patentu na wynalazek, chroniący prawa autorskie dotyczące skonstruowanego urządzenia w wersji 2.0, które będzie dalej wdrażane, rozwijane, oraz instalowane nie tylko w Toruniu, ale również na innych obszarach zurbanizowanych posiadających infrastrukturę sieci LoRaWAN i gotowość współpracy z zespołem ekspertów.

## 2. Ogólna charakterystyka pracy.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Dominiki Karpińskiej pt. „*Analiza uwarunkowań czasowej i przestrzennej zmienności zanieczyszczenia światłem w obszarach zurbanizowanych na przykładzie Torunia*” liczy 132 strony, w tym spis treści, listę publikacji wchodzących w skład rozprawy, streszczenie w j. polskim i angielskim, część opisową składająca się z 4 rozdziałów, bibliografii zawierającej 78 pozycji literaturowych. Integralną częścią rozprawy są pełne teksty 7 publikacji, tworzących logiczny ciąg opisujący badania prowadzone przez Autorkę oraz ich rezultaty.

W części opisowej Doktorantka w sposób skondensowany przedstawia stan badań zjawiska zanieczyszczenia światłem, cel badań oraz omawia ich wyniki, wchodzące w skład rozprawy doktorskiej. Część ta, bogato ilustrowana schematami, mapami oraz tabelami, pozwala na zapoznanie się z całością prowadzonych przez Autorkę badań. Bardzo cennym elementem tej części jest rozdział „Podsumowanie i wnioski”. Zważywszy na to, że istotą rozprawy jest cykl prezentowanych w dalszej części publikacji, rozdział ten należy traktować jako ich podsumowanie.

Jak już wspomniałem, w dalszej części rozprawy zamieszczono cykl publikacji autorskich, opublikowanych w punktowanych czasopismach krajowych i zagranicznych, przede wszystkim w roku bieżącym.

W pierwszej z publikacji, pt. *Analysis of the visibility and signal strength of the LoRaWAN network in an urbanized area – a case study of the Bielany campus at the Nicolaus Copernicus University in Toruń*, opublikowanej w 2021 r. (Bulletin of geography. Socio-economic series, 54 (2021): 137-149), opisany został projekt i konstrukcja zdalnego urządzenia pomiarowego, wykorzystującego technologię LoRaWAN. Przedstawiono wyniki badań widoczności sieci LoRaWAN na terenie zabudowanym, takim jak kampus uniwersytecki, przy użyciu anten o dwóch różnych długościach.

W drugiej publikacji, pt. *An Autonomous City-Wide Light Pollution Measurement Network System Using LoRa Wireless Communication*, opublikowanej w 2023 r. (Sensors 2023, 23, 5084), opisano prototypową bezprzewodową sieć sensorową do automatycznego, długoterminowego pomiaru zanieczyszczenia światłem dla obszaru Torunia przy pomocy czujników wykorzystujących bezprzewodową technologię LoRa do gromadzenia danych z obszarów miejskich za pośrednictwem bram sieciowych. W artykule opisano architekturę modułu czujnika i wyzwania projektowe, a także architekturę sieci. Zaprezentowano przykładowe wyniki pomiarów jasności łuny świetlnej, które uzyskano z sieci prototypowej.

W trzeciej publikacji, pt. *Device for automatic measurement of light pollution of the night sky*, opublikowanej w 2022 r. (Scientific Reports (2022) 12:16476), przedstawiono charakterystykę techniczną budowanych automatycznych urządzeń pomiarowych tworzących rozproszoną sieć monitoringu oraz proces testowania i użytkowania tych urządzeń. Opisano kalibrację urządzenia poprzez jednoczesne porównanie uzyskanych wyników z pomiarami wykonanymi przy użyciu profesjonalnych urządzeń SQM. Zaprezentowano sieć 35 identycznych urządzeń, które w czasie publikacji pracy pracowały już w sieci pomiarowej Torunia oraz otrzymane wstępne wyniki pomiarów.

W czwartej publikacji, pt. *Vertical variability of night sky brightness in urbanised areas*, opublikowanej w 2023 r. (Quaestiones Geographicae 42(1), 2023), opisano unikalne badania wertykalnego rozkładu jasności nocnego nieba wraz ze wzrostem wysokości urządzenia pomiarowego umieszczonego na pokładzie drona. Wykazano, że powyżej 10 m wartość ta już się nie zmienia, co umożliwia pomiary nawet w gęsto oświetlonych obszarach miejskich.

W piątej publikacji, pt. *Relationship between the surface brightness of the night sky and meteorological conditions*, opublikowanej w 2023 r. (Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 306 (2023) 108621), opisano wpływ warunków meteorologicznych na mierzoną jasność powierzchniową nocnego nieba. Określono również, jak wartość ta zmienia się wraz z oddalaniem od centrum miasta.

W szóstej publikacji, pt. *Measuring light pollution in the night sky – from technology demonstrator to monitoring system*, opublikowanej w 2023 r. (Civil and Environmental Engineering Reports 2023; 33 (1): 0053-0070), opisano działającą w Toruniu autorską sieć pomiaru jasności nocnego nieba, przedstawiono mapy rozmieszczenia poszczególnych elementów sieci oraz zaprezentowano wstępne rezultaty badań.

W ostatniej, siódmej publikacji, pt. *Spatial and temporal analysis of artificial light pollution of the city night sky. A case study from Toruń*, opublikowanej w 2023 r. (Miscellanea Geographica – Regional Studies On Development, Vol. 27, No. 3, 2023), przedstawiono wyniki analizy danych pomiarowych zarejestrowanych podczas dwuletniej eksploatacji operacyjnej sieci monitoringu. Przeprowadzone pomiary pozwoliły na analizę sezonowej zmienności zjawiska, a także na wykonanie analiz przestrzennych w granicach Torunia. Porównano te dane z pomiarami wykonanymi z dala od obszarów zamieszkałych, co umożliwiło określenie wpływu zasiedlenia obszaru na jasności nocnego nieba. Należy pochwalić starannie wykonane mapy rozkładu terenowego jasności nocnego nieba, ułatwiające zapoznanie się z opisywanym zagadnieniem nawet przez osoby nie związane z tematem.

Załączone w rozprawie publikacje, poprawnie wybrane spośród innych prac Doktorantki, tworzą logiczny ciąg w pełni opisujący jej działalność naukową.

### **3. Ocena pracy.**

Doktorantka prawidłowo sformułowała cel pracy doktorskiej, zarówno naukowy jak i użyteczny. Postawiła pięć tez, które udowodniła w trakcie realizacji pracy. Zakres pracy został w pełni zrealizowany. Dla udowodnienia tez i celów pracy Autorka zaproponowała precyzyjnie bardzo szeroką metodykę badawczą, korzystając przy tym z własnych, autorskich rozwiązań technologicznych. Wnioski z przeprowadzonych badań uważam za logiczne i trafne. Świadczą one o dużej wiedzy Autorki w naukach ścisłych oraz technicznych. Za najważniejsze osiągnięcia w pracy uważam:

- zaprojektowanie i skonstruowanie sieci zdalnych punktów pomiarowych jasności nocnego nieba;
- wykonanie analiz sezonowej i przestrzennej zmian jasności nocnego nieba w obrębie miasta oraz ich wizualizację;
- wykonanie pomiarów wertykalnych jasności nocnego nieba w funkcji wysokości nad powierzchnią ziemi wraz z wnioskami, bezpośrednio dotyczącymi metodologii prowadzenia pomiarów na terenach oświetlonych;
- wykazanie związków między warunkami meteorologicznymi, w szczególności wysokością podstawy chmur, a jasnością nocnego nieba;
- złożenie wniosku patentowego na wynalazek, chroniący prawa autorskie dotyczące skonstruowanego urządzenia (fotometru) w wersji 2.0.

**Podsumowując:** Doktorantka przy realizacji pracy, która ma charakter interdyscyplinarny, wykazała się umiejętnością zaprojektowania i konstrukcji urządzeń pomiarowych oraz ich implementacji w, również samodzielnie opracowanych, sieciach monitoringu. Wykazała się również umiejętnością przeprowadzania eksperymentów naukowych, ich planowania, interpretacji otrzymanych wyników, prawidłowym wyciąganiem wniosków z przeprowadzonych prac badawczych oraz ich szczegółowej analizie. Doktorantka umie również prezentować otrzymane wyniki badań w atrakcyjny, czytelny sposób. Praca doktorska wykazała, że Doktorantka jest znakomitym praktykiem, umiejącym wykorzystać swoje doświadczenie w prawidłowym przeprowadzeniu i analizie eksperymentów naukowych.

#### 4. Uwagi ogólne i dyskusyjne

**Uwaga ogólna:** Doktorantka często (zarówno w rozprawie, jak też w publikacjach) używa zwrotu *zanieczyszczenie światłem* (ang. *light pollution*) traktując go jako synonim sztucznej łuny świetlnej nocnego nieba. Nie jest to ściśle, gdyż łuna świetlna jest jedynie jedną z kategorii zanieczyszczenia światłem (inne to np. olśnienie czy zaświecenie), a niekiedy nawet jest traktowana jako efekt zanieczyszczenia światłem. *De facto* Doktorantka mierzy jasność łuny świetlnej, a nie zanieczyszczenie światłem. **Proszę o ustosunkowanie się.**

Str.9, 13<sup>g</sup>: użyte słowo *olśnienie* w j. polskim ma niejednoznaczne znaczenie. Owszem, jest ono poprawne w aspekcie opisywanego zagadnienia (podobnie, jak również wieloznaczne, słowo *osłepienie*), może jednak warto tu w jakiś sposób uściślić, o co chodzi?

Str.9, 8<sup>d</sup>: dlaczego *a nawet owadów*? Przecież nie jest to nic dziwnego, zważywszy na szereg owadów nocnych, w tym reagujących na światło (np. ćmy). Poza tym, nietoperze są ssakami, a nie oddzielną gromadą zwierząt.

Str.11, 19<sup>g</sup>: zapis jednostki  $W/m^2/sr/\mu m$  jest całkowicie nieczytelny (i w zasadzie błędny). Poza tym, podstawową jednostką radiancji jest  $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$ . Podana jednostka, w prawidłowym zapisie  $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot \mu m$  jest jednostką radiancji spektralnej (ang. *spectral radiance*)

Str.11, 5<sup>d</sup>-4<sup>d</sup>: Zdanie *Prawo człowieka do ciemnego nieba [...] jest to jedno z najbardziej naturalnych elementów otaczającego nas świata* jest niewłaściwie skonstruowane. *Prawo...* nie jest elementem. Powinno być: *Ciemne niebo jest jednym z najbardziej naturalnych elementów...*

Str.12, 8<sup>d</sup>-6<sup>d</sup>: *Zauważono, iż dotychczas wykorzystywane fabryczne fotometry do pomiaru powierzchniowej jasności nocnego nieba nie spełniają założeń postawionych na wstępie badań.* Ale w tym tekście, jak na razie, nie postawiono żadnych założeń!

Str.13, 5<sup>g</sup>-18<sup>g</sup>: Uważam, że powinny tu być rozdzielone tezy „aparaturowe” od „pomiarowych”

Str.13, 17<sup>g</sup>: jest *zanieczyszczenie*, powinno być *zanieczyszczenia*.

Str.16, 14<sup>d</sup>: rozumiem, że chodzi o akumulatorki, nie o baterie. Czy badana była ich charakterystyka czasowa? Z moich badań wynika, że o ile baterie „trzymają” napięcie długo, a potem nagle następuje zmniejszenie, o tyle spadek napięcia akumulatorków następuje cały czas. Proces ten ma wpływ na stabilność pomiarów (w szczególności na zapis momentu pomiaru). **Proszę o ustosunkowanie się.**

Str.17, opis Ryciny 2: brak objaśnienie, co to jest CH0 i CH1. Rozumiem, że jest to powtórzenie wykresu z jednej z załączonych prac (tam, zresztą, oznaczenia są inne!), ale te tekst tu jest „samodzielny” i oznaczenia wymagają objaśnień

Str.17, 12<sup>d</sup>: czy *brama komunikacyjna* to to samo, co *brama dostępowa*? Wcześniej ta nazwa nie wystąpiła.

Str.18, 2<sup>d</sup>-1<sup>d</sup> – 19, 1<sup>g</sup>: Czyli zyskujemy tylko 4%? Czy nie ma innej metody? **Proszę o wyjaśnienia**

Str.19, Tabela 1: Z nagłówka tabeli wynika, że urządzenie mierzy *zanieczyszczenie sztucznym światłem nocnego nieba*. To znaczy, co mierzy? Z wiersza 5 wynika, że wielkość mierzoną w luksach (0 lx-88000 lx), czyli mierzone jest natężenie oświetlenia (bo luksy są jego jednostkami), a nie jasność nieba. Ponadto, w wierszu 11 tabeli podano, że urządzenie zawiera czujnik *natężenia światła*. Nie ma takiego pojęcia. Jest natężenie oświetlenia powierzchni, mierzone w luksach. **Proszę o wyjaśnienia**

Str.19, Tabela 1, wiersz 2<sup>d</sup>: podano kąt zbierania 27°. Nie podano, czy całkowity, czy połówkowy. Z dalszego ciągu tekstu (Table 1 w przedostatniej z załączonych publikacji) wynika, że połówkowy, ale w tym miejscu powinno być to wyraźnie podane.

Str. 20, 10<sup>g</sup>: Zwrot *pomiary są do siebie bardzo zbliżone* jest niepoprawny, Zbliżone są *wartości pomiarów*, a nie pomiary!

Str.20, podpis pod Ryciną 5: brak wyjaśnieni, jaki czas jest na osi poziomej (lokalny, UT, CSE?)

Str.21, 3<sup>g</sup>-4<sup>g</sup>: Jest napisane: *Biorąc pod uwagę kąt sferyczny zbierania danych przez urządzenie...* O jaki kąt chodzi? Nie było jak dotąd mowy o kącie sferycznym lecz o kącie zbierania, a to nie to samo **Proszę o wyjaśnienie**

Str.21, 21<sup>d</sup>: o jaką średnią chodzi? Zapewne arytmetyczną, ale czy tu nie byłaby lepsza mediana? **Proszę o ustosunkowanie się**

Str.21, 18<sup>d</sup>: oprócz stopnia zachmurzenia oraz wysokości podstawy chmur istotne jest również ich albedo. **Proszę skomentować**

Str. 21, 12<sup>d</sup>-10<sup>d</sup>: A jaki ma wpływ rodzaj lampy? Dodatkowo przecież ma wpływ światło odbite od ścian sąsiednich budynków. **Proszę skomentować**

Str.23, 20<sup>d</sup>: światło zodiakalne ma znikomy wpływ. Przy braku Księżyca przede wszystkim są to gwiazdy i planety.

Str.23, 7<sup>d</sup>: skala zachmurzenia jest oktantowa, a nie oktanowa! Oktany dotyczą np. benzyny.

Str.25, 8<sup>g</sup>: chodzi zapewne o linię trendu liniowego. Trend może mieć różny charakter

Str.25, wykres: wykres jest nieczytelny. Zamiast wszystkich punktów może wystarczyło zaznaczyć wartości średnie?

Str.26, 5<sup>g</sup>-7<sup>g</sup>: Autorka słusznie zauważa wpływ pyłów na jasność nocnego nieba, jednak nie wynika to z *przedstawionych powyżej wyników*, jak jest napisane w zdaniu poniżej

Str.26, 9<sup>g</sup>: nie podano rodzaju korelacji (Pearsona, Spearmana, tau Kendalla?)

Str.26, 13<sup>g</sup>: korelacja może być wysoka, ale czy jest istotna? **Proszę skomentować**

Str.26, nagłówek tabeli 2: Co to jest *zależność statystyczna*? Czy chodzi o współczynnik korelacji?  
Brak szczegółowego objaśnienia

Str.26, 11<sup>d</sup>: użyto słowa *sezony*. Zapewne chodzi o pory roku?

Str.27, 3<sup>d</sup>: *zakłada malejący udział*. Malejący, ale względem czego? Zwrot *udział w pomiarach* jest niejasny.

Str.28, 3<sup>d</sup>-2<sup>d</sup>: raczej *średnią*, poza tym, jaką? Wymagana byłaby tutaj pełna analiza statystyczna.  
Proszę się ustosunkować.

Str.29, Tabela 4. Ponownie brak informacji, o jaką średnią chodzi. Poza tym brak analizy rozkładów empirycznych,

Str.31, 1<sup>g</sup>: Użyto tu po raz pierwszy jednostki  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ , bez wcześniejszego objaśnienia. Poza tym, czy nie byłoby korzystne wspomnienie o luminancji i, dodatkowo, używanie jednostki  $\text{mcd}/\text{m}^2$ ?  
Wtedy łatwiej operować pojęciami „mniejszy”, „większy”. Proszę się ustosunkować

Str.31, 12<sup>g</sup>-13<sup>g</sup>: Słuszne spostrzeżenie o pyłach, można jednak zwrócić uwagę na to, pyły o jakim rozmiarze najbardziej rozpraszają światło.

Str.31, 17<sup>d</sup>: nie chodzi tu o *wysokość chmur*, tylko o wysokość podstawy chmur!

Str.32, 3<sup>d</sup>-1<sup>d</sup>: Zdanie nie do końca prawdziwe. W zimie, przy obecności w atmosferze pyłów pochodzących z niskiej emisji, rozpraszają one silnie światło Księżyca, czyli efekt jest dokładnie odwrotny do opisanego

Str. 33, Podpis pod Ryciną 17: ponownie brak podania, jaki czas jest na osi poziomej (lokalny, UT, CSE?)

Str.35, 2<sup>g</sup>-3<sup>g</sup>: jest napisane: *zjawisko zanieczyszczenia światłem jest możliwe do skutecznego i powtarzalnego mierzenia*. Zjawiska się nie mierzy! Mierzy się jasność.

Str.42, 6<sup>g</sup>: jest *Spadek*, powinno być *Pogorszenie*.

Str.42, 8<sup>g</sup>: jest *w dolnej części troposfery*. Nie tylko – proszę się ustosunkować

Ponadto, obserwując fotografie (np. Figure 12 w publikacji nr 1) nasuwa się pytanie, czy okoliczne struktury/ściany nie ekranują/odbijają światła zaburzając wynik? Proszę się ustosunkować

## 5. Wniosek końcowy

We wniosku końcowym pragnę stwierdzić, że praca doktorska Pani mgr inż. Dominiki Karpińskiej pt. „*Analiza uwarunkowań czasowej i przestrzennej zmienności zanieczyszczenia światłem w obszarach zurbanizowanych na przykładzie Torunia*” zasługuje na dopuszczenie do publicznej obrony. Przemawia za tym bogaty materiał badawczy zawarty w pracy, prawidłowa jego analiza wraz z wyciągnięciem wniosków o charakterze naukowym. Podczas realizacji pracy Doktorantka pokazała,

że jest bardzo dobrym praktykiem umiejącym swoją wiedzę wykorzystać w badaniach naukowych. Praca ma charakter interdyscyplinarny, idea zaprojektowanego przez Doktorantkę fotometru oraz sposób pozyskiwania danych pomiarowych za pośrednictwem sieci LoRaWAN może znaleźć zastosowanie nie tylko w zakresie badań zanieczyszczenia światłem, lecz również w innych zagadnieniach związanych z monitoringiem środowiska, a nawet w systemach bezpieczeństwa. Jestem przekonany, że umiejętności Doktorantki pozwolą jej na prowadzenie dalszych interesujących badań naukowych w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku.

Na przedstawione uwagi krytyczne i dyskusyjne Doktorantka będzie mogła się odnieść i ustosunkować w czasie obrony pracy. Uwagi, o których wyjaśnienie w czasie obrony proszę, zostały podświetlone szarym tłem.

Praca doktorska Pani **Dominiki Karpińskiej** pt. *„Analiza uwarunkowań czasowej i przestrzennej zmienności zanieczyszczenia światłem w obszarach zurbanizowanych na przykładzie Torunia”* spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, wynikającym z art.187 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz.U z 2018 r., poz. 1668 z późn.zm.) i stawiam wnioski o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów w postępowaniu o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku. .

#### **Wnioskuje również o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.**

Uzasadnienie wniosku o wyróżnienie: opracowana przez Doktorantkę koncepcja autonomicznych urządzeń pomiarowych z dostępem bezpośrednim do danych za pośrednictwem sieci LoRaWAN może znaleźć zastosowanie w wielu dziedzinach, w których konieczny jest monitoring środowiskowy. Na uznanie zasługuje również zaprojektowanie i konstrukcja autorskiego, taniego fotometru, konkurencyjnego do analogicznych urządzeń dostępnych na rynku. Opatentowanie tego urządzenia oraz, jak mam nadzieję, wdrożenie jego produkcji, umożliwi objęcie całego kraju siecią monitoringu zjawiska zanieczyszczenia światłem (i nie tylko), co byłoby unikalne w skali światowej. Tego typu monitoring może też pozwolić na stworzenie modeli wiążących stężenie pyłów zawieszonych w porze zimowej (tzw. „smogu”) z jasnością łuny świetlnej dla konkretnych obszarów, co pozwoli na proste i tanie określenie tej wielkości, bez konieczności korzystania z kosztownych pyłomierzy. Zaprojektowanie i konstrukcja montażu fotometru z bezzałogowym statkiem powietrznym umożliwi wykonywanie pomiarów jasności sztucznej łuny świetlnej (a, jak przypuszczam, również innych zanieczyszczeń) powyżej przyziemnej warstwy atmosfery, co też należy uznać za ważny krok w kierunku obiektywnych pomiarów nie zaburzonych przez czynniki przypowierzchniowe.