

Łódź, dn. 19 maja 2025 r.

prof. dr hab. Krzysztof Fortuniak
Instytut Klimatologii i Hydrologii
Wydział Nauk Geograficznych
Uniwersytet Łódzki

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Aleksandry Renc
pt. „Przestrzenne i sezonowe zróżnicowanie miejskiej wyspy ciepła w Górnośląsko-
Zagłębiowskiej Metropolii na podstawie danych satelitarnych”

Rozprawa doktorska Pani mgr Aleksandry Renc zatytułowana „Przestrzenne i sezonowe zróżnicowanie miejskiej wyspy ciepła w Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii na podstawie danych satelitarnych”, napisana została pod kierunkiem prof. dr hab. Ewy Łupikaszy na Wydziale Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach.

Zgodnie z tytułem recenzowana rozprawa, której podstawę stanowią trzy artykuły naukowe, poświęcona jest analizie zjawiska tzw. powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM). Tematyka pracy mieści się zatem w pełni w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku.

Zjawisko miejskiej wyspy ciepła, znane i dokumentowane w literaturze naukowej od ponad dwustu lat, w ostatnim czasie ponownie stało się przedmiotem wzmożonego zainteresowania, zarówno środowisk naukowych, jak i przedstawicieli lokalnych władz, samorządów czy mieszkańców. Wynika to prawdopodobnie z bardziej ogólnego zainteresowania problematyką klimatu miast w dobie globalnych zmian klimatycznych oraz wymogów opracowania odpowiednich miejskich strategii dostosowawczych. Dlatego chociaż ogólne mechanizmy powstawania, uwarunkowań i zmienności miejskiej wyspy ciepła są dobrze poznane, istnieje potrzeba pogłębionych badań konkretnych miast i ośrodków metropolitalnych, uwzględniających ich specyfikę przestrzenną, klimatyczną i funkcjonalną. Przedłożona do oceny rozprawa wpisuje się w ten nurt badawczy. Autorka wykorzystuje w tym celu nowoczesne metody pomiarowe oparte na zobrazeniach satelitarnych, które pozwalają na wyjątkowe uszczegółowienie rozkładu przestrzennego temperatury powierzchni na analizowanym obszarze.

Opis i ocena rozprawy pod względem formalnym

Przedstawiona do oceny dysertacja liczy 141 stron i składa się z trzech głównych części:

I. *Formalne elementy rozprawy doktorskiej* (strony 4–17), w tym streszczenie w języku polskim i angielskim oraz określenie wkładu Autorki w poszczególne publikacje wchodzące w skład rozprawy i oświadczenia współautorów;

II. *Przewodnik rozprawy doktorskiej* (strony 18–92), zawierający usystematyzowane wyniki badań zawartych w artykułach stanowiących podstawę dysertacji opatrzone wprowadzeniem, w którym między innymi zdefiniowano cel główny i cele cząstkowe pracy. Właściwą analizę wyników poprzedzono również szczegółowym opisem obszaru badań, danych źródłowych i metodyki, natomiast na zakończenie przedstawiono podsumowanie i wnioski oraz spis rycin, tabel i literatury;

III. *Publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej* (strony 93–141):

P1: Renc, A., Łupikasza, E., Błaszczuk, M., 2022. Spatial structure of the surface heat and cold islands in summer based on Landsat 8 imagery in southern Poland. *Ecological Indicators*, 142, 109181.

P2: Renc, A., Łupikasza, E., 2024. Changes in the surface urban heat island between 1986 and 2021 in the polycentric Górnślasko-Zagłębiowska Metropolis, southern Poland. *Building and Environment*, 247, 110997.

P3: Renc, A., Łupikasza, E., 2024. Permanent and Seasonally Specific Surface Heat Island in urban and non-urban areas in mid-latitude polycentric agglomeration based on Landsat images. *Ecological Indicators*, 169, 112871.

Powyższa konstrukcja dysertacji nie budzi zastrzeżeń. Część II, mimo nieco dziwnego tytułu, to w zasadzie autoreferat spójny z przedłożonymi artykułami. Napisany jest on generalnie poprawną polszczyzną i charakteryzuje się jasnym, typowym dla tego typu tekstów układem. Należy podkreślić, że artykuły składające się na rozprawę doktorską zostały opublikowane w czasopismach najwyższej rangi, którym w klasyfikacji Ministerstwa przyznano maksymalną liczbę 200 punktów. Bezdyskusyjny jest również decydujący wkład Doktorantki w powstanie tych publikacji – we wszystkich artykułach figuruje ona jako pierwsza autorka i jedynie w jednym z nich poza promotorem na liście autorów pojawia się jeszcze jedna osoba.

Opis i ocena merytoryczna rozprawy

Publikacja artykułów składających się na ocenianą rozprawę doktorską w renomowanych czasopismach naukowych o ugruntowanej pozycji i międzynarodowym prestiżu sama w sobie stanowi istotny wyznacznik poziomu merytorycznego prezentowanych wyników badawczych. Co ważne, przedstawione artykuły tworzą spójny tematycznie ciąg,

w którym Autorka sukcesywnie, w sposób metodyczny, poszerza wiedzę o powierzchniowej miejskiej wyspie ciepła na obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Poszczególne cele cząstkowe pracy są realizowane w kolejnych publikacjach.

Pierwsza z przedłożonych prac (P1) poświęcona jest rozpoznaniu zasięgu i intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła (SUHI – Surface Urban Heat Island) oraz powierzchniowej wyspy chłodu (SCI – Surface Cold Island) na badanym obszarze w sezonie letnim. Wykorzystano w tym celu 4 zdjęcia satelitarne z godziny 9:40 UTC. Ponieważ obszary o podwyższonej temperaturze powierzchniowej (LST) obejmują nie tylko tereny zurbanizowane, SUHI stanowi jedynie część większej powierzchniowej wyspy ciepła (SHI – Surface Heat Island). Dlatego, aby dokładnie określić charakterystykę SUHI, w pracy wprowadzono oryginalną koncepcję powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła ograniczonej przez pokrycie terenu (LCL SUHI – Land Cover Limited Surface Urban Heat Island) łączącej SUHI z typem pokrycia terenu. Pozwoliło to na dokładne określenie udziału procentowego LCL SUHI dla różnych progów termicznych oraz wyznaczenie średnich wartości LST dla w tak zdefiniowanych LCL SUHI. Odpowiednie wyliczenia wykonano również dla SCI. Na uwagę zasługuje również szczegółowa analiza typów pokrycia terenu na obszarze GZM i ich relacji z temperaturą powierzchniową.

Druga praca (P2) miała na celu określenie wpływu zmian struktury przestrzennej Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii w okresie od 1986 do 2021 roku na zasięg i intensywność powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w okresie letnim. Wykorzystano w tym celu trzy pary obrazów satelitarnych, przy czym każda z par reprezentowała zmiany wieloletnie w wybranym miesiącu sezonu letniego: 17 czerwca 1986 roku i 17 czerwca 2021 roku (odległość czasowa 35 lat), 25 lipca 1994 roku i 29 lipca 2013 roku (19 lat) oraz 31 sierpnia 1990 roku i 31 sierpnia 2019 roku (29 lat). Analizę porównawczą przeprowadzono w odniesieniu do powierzchniowej wyspy ciepła (SHI), powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła (LCL SUHI) oraz powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła z wykluczeniem terenów rolnych ($SUHI_{WA}$). Stwierdzono ekspansję miejskiej wyspy ciepła w badanym wieloleciu związaną ze zmianą struktury pokrycia terenu oraz zmniejszenie się intensywności SUHI mimo wzrostu LST na obszarze SUHI, co jest wynikiem większych wzrostów LST w obszarze SCI.

Celem ostatniej publikacji (P3) było rozpoznanie sezonowej zmienności powierzchniowej wyspy ciepła występującej w obrębie terenów miejskich i pozamiejskich GZM. Dla każdej pory roku wyznaczono rozkład temperatury powierzchniowej uśredniając dane z dostępnych zobrazowań satelitarnych z lat 1985–2022: 6 dla zimy, 19 dla wiosny,

14 dla lata i 15 dla jesieni. Określono rolę poszczególnych typów pokrycia terenu w kształtowaniu się rozkładu temperatury powierzchniowej wykorzystując dwie niezależne typologie: Local Climate Zone (LCZ) oraz CORINE Land Cover (CLC). Stwierdzono największą powierzchnię SHI w lecie, a najmniejszą jesienią, co autorzy tłumaczą rozwojem szaty roślinnej. Wykryto również wyraźne przesunięcie SHI zimą w kierunku zachodnim. Nowatorskim podejściem jest wyznaczenie obszarów, na których SHI pojawia się we wszystkich porach roku (przez autorów nazwanych permanentną SHI) oraz obszarów sezonowo specyficznej SHI, pojawiającej się jedynie w wybranym sezonie. Analizy te przeprowadzono niezależnie dla miejskiej i pozamiejskiej SHI. Obszary miejskie o temperaturze podwyższonej na zobrażowaniach dla wszystkich pór roku stanowią ok. 3% powierzchni GZM, natomiast obszary pozamiejskie – zaledwie 0,4%.

Przedstawione artykuły dostarczają nowych ustaleń na temat zróżnicowania temperatury powierzchniowej na obszarze GZM, w tym powierzchniowej wyspy ciepła i chłodu, a pewne nowatorskie koncepcje w nich wprowadzone mogą być stosowane również do analizy innych terenów zurbanizowanych. Dzięki konsekwentnej spójności tematycznej cykl ten może zostać uznany za rozwiązanie konkretnego problemu badawczego z jasno i precyzyjnie sformułowanymi celami badawczymi realizowanymi w kolejnych publikacjach. Bezspornie dowodzą one umiejętności prowadzenia przez Doktorantkę samodzielnej pracy naukowej. Zarówno w artykułach, jak i w autoreferacie, Doktorantka w sposób swobodny i adekwatny odnosi się do literatury krajowej i zagranicznej, co potwierdza Jej ogólną wiedzę teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie naukowej.

Chociaż przedstawione artykuły przeszły cykl wydawniczy, w którym poddane zostały ocenie niezależnych recenzentów, w pracy pojawia się kilka dyskusyjnych kwestii:

1) Przedstawione analizy powstały na podstawie zdjęć satelitarnych z godziny 9:40 UTC, a więc godzin dziennych, dla których temperatura powietrza w mieście nie różni się znacząco od temperatury za miastem. W przeciwieństwie do SUHI atmosferyczna miejska wyspa ciepła (UHI_{CL} – ang. canopy layer urban heat island) zanika w dzień. Natomiast temperatura podłoża (LST) w bezchmurne letnie dni różni się znacząco od temperatury powietrza standardowo mierzonej na wysokości 2 m, zarówno co do wartości, jak i rozkładu przestrzennego (różnice mogą przekraczać kilkadziesiąt stopni, np. w przypadku nagrzanego od słońca ciemnego dachu). Dlatego wszystkie, skądinąd słuszne, uwagi dotyczące zagrożeń jakie powoduje atmosferyczna miejska wyspa ciepła (UHI_{CL}) nie odnoszą się bezpośrednio do analizowanej w pracy dziennej SUHI, a ich przytaczanie w kontekście SUHI (np. str. 20) jest pewnym nadużyciem – autorzy nie badali UHI_{CL} .

- 2) Oczywiście temperatura powierzchni w dzień wpływa na temperaturę warstwy mieszania o grubości rzędu 1 km, lecz nie oznacza to, że rozkład przestrzenny temperatury podłoża (SUHI) odpowiada rozkładowi przestrzennemu temperatury powietrza, gdyż intensywne wiry turbulencyjne powodują bardzo szybkie rozprowadzanie ciepła zarówno w pionie (w całej tak grubej warstwie), jak i w poziomie. Stwierdzenie sugerujące bezpośrednie przełożenie rozkładu przestrzennego temperatury podłoża na rozkład temperatury powietrza w warstwie konwekcyjnie wymieszanej (str. 18/19) może wprowadzać w błąd.
- 3) O ile badania struktury przestrzennej SUHI dające informacje o podatności podłoża na nagrzewanie/wychładzanie uważam za bardzo wartościowe, o tyle dokładne, ilościowe wyliczenia wartości temperatury powierzchniowej i jej różnic, chociaż przydające opracowaniu „naukowości”, są w mojej ocenie mniej istotne, a czasami wręcz mylące. Należy bowiem pamiętać, że jak już wspomniano, bazują one na danych pozyskanych z ustalonej godziny (około 9:40 UTC), dla kilku wybranych dni bezchmurnych. Z tego powodu powinny być raczej traktowane jako studium przypadku, a nie jako charakterystyki klimatologiczne. Wartości byłyby zupełnie inne w innych porach dnia czy innych warunkach meteorologicznych.
- 4) Z powyższych względów określenie „permanentna SHI” za mylące – zdjęcia satelitarne z godzin nocnych mogłyby dać zupełnie inny obraz rozkładu przestrzennego LST (np. nagrzane w dzień duże place czy wielkopowierzchniowe dachy w nocy mogą ulegać silnemu wychłodzeniu). Dodatkowo uzyskana w dni słoneczne SHI prawdopodobnie zanika w dni pochmurne.
- 5) Równie niewłaściwe wydaje mi się wyliczenie wieloletnich zmian wartości SUHI (praca P2) bazujące na porównaniu trzech par zdjęć satelitarnych (17 czerwca 1986 i 17 czerwca 2021, 25 lipca 1994 i 29 lipca 2013 oraz 31 sierpnia 1990 i 31 sierpnia 2019). Porównanie temperatury z godz. 9:40 UTC w danym dniu z temperaturą tego samego dnia kalendarzowego 35 lat później, nawet w przypadku podobnych warunków pogodowych nie uprawnia do wyciągania ilościowych wniosków odnośnie zmian klimatycznych, gdyż różnice mogą wynikać ze znacznie silniejszej zmienności krótkookresowej. Natomiast porównanie zasięgów SUHI wynikające ze zmian w strukturze pokrycia podłoża jest jak najbardziej zasadne.
- 6) Niektóre z wniosków przedstawionych w pracy mają charakter zbyt daleko idący w stosunku do zakresu oraz wyników przeprowadzonych badań, na przykład stwierdzenie, że wzrost LST w lipcu zarejestrowany podczas fali upałów „może świadczyć o intensyfikacji fal upałów w wyniku globalnego ocieplenia” (str. 79).

7) Wszystkie wartości LST podawane są z dokładnością do $0,1^{\circ}\text{C}$, co sugeruje taką właśnie dokładność pomiarów. Jaka jest jednak rzeczywista dokładność pomiarów satelitarnych temperatury powierzchni z uwzględnieniem niepewności co do wartości emisyjnej, korekcji atmosferycznej, przesłonięcia pewnych fragmentów powierzchni itp.? Jest to pytanie szczególnie ważne w świetle porównań temperatury przeprowadzonych w pracy.

8) W celu wyznaczenia obszarów chłodu i ciepła zastosowano kryterium $\mu \pm A\sigma$, gdzie μ oznacza wartość średnią, σ – odchylenie standardowe, a $A = 1, 2$ lub 3 . Jest to uzasadnione jedynie w przypadku normalnego rozkładu LST. Dlatego bardziej poprawnym podejściem byłaby wstępna normalizacja rozkładu LST, a dopiero późniejsze zastosowanie ww. kryterium.

Wniosek końcowy

Zgodnie z obowiązującą Ustawą rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a jej przedmiotem jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Rozprawę doktorską Pani mgr Aleksandry Renc zatytułowaną „Przestrzenne i sezonowe zróżnicowanie miejskiej wyspy ciepła w Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii na podstawie danych satelitarnych”, oceniam wysoko, zarówno ze względu na merytoryczną wartość publikacji, jak i spójność całego cyklu. Sformułowane powyżej uwagi należy postrzegać raczej jako element merytorycznej dyskusji naukowej niż jako wyraz krytyki, gdyż analogiczne kwestie można odnieść do wielu prac poświęconych problematyce powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła, publikowanych niejednokrotnie w renomowanych czasopismach naukowych. Ustawowe warunki rozprawy doktorskiej zostały w mojej opinii w tym przypadku w pełni spełnione. Wobec powyższego wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Nauki o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach o przyjęcie pracy jako rozprawy na stopień doktora oraz o dopuszczenie Pani mgr Aleksandry Renc do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora, w tym do publicznej obrony.

prof. dr hab. Krzysztof Fortuniak