

**Politechnika Warszawska**

**Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska**

**Rozprawa doktorska pt. "Metoda szacowania strumienia ciepła jawnego w miastach na podstawie danych satelitarnych i obserwacji naziemnych"**

**Autor:** mgr inż. Lech Gawuć

**Promotor:** dr hab. inż. Lech Łobocki, prof. PW

**Promotor Pomocniczy:** dr inż. Joanna Strużewska

### **Streszczenie**

Niniejsza praca jest poświęcona analizie klimatu Warszawy pod kątem badania temperatury powierzchni ziemi (ang. land surface temperature - dalej LST), intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła (dalej PMWC) oraz strumienia ciepła jawnego. W pracy wykorzystano kilkadziesiąt obserwacji satelitarnych instrumentu MODIS, znajdującego się na pokładach satelitów Terra oraz Aqua, oraz zbiór kilku milionów obserwacji naziemnych. Analizie poddano długoterminową zmienność intensywności PMWC. Intensywność wyznaczoną za pomocą czterech wskaźników („magnitude”, „range”, „inside urban - inside rural” oraz „inside - outside”). Stwierdzono, iż PMWC występuje w większości przeanalizowanych przypadków, a jej intensywność wynosiła średnio od 3,7°C zimą do 5,9°C w porze letniej. Sporządzono kompozycje czasowe temperatury powierzchni Warszawy dla czterech pór roku uzyskując reprezentatywny, uśredniony dla 10 lat (2005-2014) obraz LST w mieście. Kompozycje czasowe uwzględniały korektę ze względu na jakość obserwacji satelitarnych.

Wykorzystując dane satelitarne oraz jednoczesne pomiary naziemne dokonane podczas przelotów satelitów nad punktami pomiarowymi udowodniono istnienie silnego związku liniowego pomiędzy temperaturą radiacyjną powierzchni obserwowaną przez sensor satelitarny, a obserwowaną in-situ temperaturą kinetyczną jezdni, temperaturą powietrza oraz temperaturą gruntu na głębokości 30 cm. Tym samym wykazano użyteczność danych satelitarnych do badania klimatu miejskiego. Przeprowadzono także analizę lokalizacji naziemnych stacji pomiarowych w świetle wytycznych Światowej Organizacji Meteorologicznej.

Za pomocą metody profilowej opartej o teorię Monina i Obuchowa, wykorzystującej gradienty temperatury oraz prędkości wiatru, obliczono wartości strumienia ciepła jawnego dla badanego okresu 2005-2014. Z wysokim poziomem wiarygodności wykazano reprezentatywność obszarową gradientowych pomiarów strumienia ciepła jawnego w warunkach niskiej zabudowy miejskiej. Następnie określono średnią zmienność strumienia ciepła jawnego dla każdej stacji pomiarowej.

Wyznaczono strumień ciepła jawnego za pomocą temperatury radiacyjnej obserwowanej przez instrument MODIS oraz temperatury powietrza i wartości prędkości wiatru obserwowanych na stacjach naziemnych. Wartości strumienia ciepła jawnego uzyskane w oparciu o dane satelitarne porównano z wartościami wyznaczonymi z danych naziemnych (temperatura kinetyczna jezdni, prędkość wiatru oraz temperatura powietrza) pochodzących z najbliższego położonego punktu pomiarowego. Stwierdzono istnienie istotnego związku liniowego pomiędzy strumieniem ciepła jawnego wyznaczonego za pomocą jednoczesnych obserwacji naziemnych i satelitarnych w porze dziennej. Dla pory nocnej nie udało się ustalić wyraźnych zależności. Stąd dalsze analizy wykorzystujące jednoczesne obserwacje naziemne i satelitarne były przeprowadzone jedynie dla pory dziennej. Następnie, określono przestrzenne rozkłady strumienia ciepła, uśrednione dla poszczególnych sezonów. Przeanalizowano również relację intensywności wymiany energii pomiędzy atmosferą i powierzchnią ziemi, a intensywnością PMWC.

Końcowe analizy dotyczyły przestrzennego rozkładu strumienia ciepła jawnego dla pojedynczych przypadków, tj. 25 lutego 2014, 3-4 listopada 2014 oraz 2 lipca 2008. Stwierdzono, iż zmiana warunków meteorologicznych obserwowanych in-situ znajduje odzwierciedlenie w wartościach i w rozkładzie przestrzennym strumienia ciepła jawnego. Sporządzono również uśrednioną kompozycję długoterminową dla czterech pór roku.

**Słowa kluczowe:** klimatologia miejska, strumień ciepła jawnego, powierzchniowa miejska wyspa ciepła, dane satelitarne, MODIS, naziemne obserwacje meteorologiczne, metoda profilowa, teoria Monina-Obuchowa

**podpis autora:**

*Lech Gawuć*

**data:** 22-02-2017