

IGF-SN -420 -10/22

SEKRETARIAT NAUKOWY INSTYTUT GEOFIZYKI PAN	
WPLYNEŁO	
Data: 20.06.2022	v
Nr dz.	zaf.
Ref.	

Warszawa, 20.06.2022 r.

Prof. dr hab. Jerzy Bartnicki
Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Podleśna 61
01-673 Warszawa

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anahity Sattari

**"Sensitivity of the GEM model to different descriptions of city surface parameters over
Warsaw"**

Promotor pracy: prof. dr hab. inż. Jacek W. Kamiński

Podstawa przygotowania recenzji

Formalną podstawą przygotowania tej recenzji jest Uchwała Rady Naukowej Instytutu Geofizyki PAN z dnia 14 kwietnia 2022 roku i zlecenie (pismo IGF-SN-420-06/22) z dnia 19 kwietnia 2022 roku).

Celowość podjęcia tematu

Dotychczasowe badania wykazały, że miasta w sposób istotny wpływają na warunki meteorologiczne oraz na klimat, zarówno na ich terenie jak i poza nim. Przejawem tego wpływu są zjawiska takie jak np. miejska wyspa ciepła, od dawna obserwowana i analizowana w badaniach naukowych. Do badań wpływu miast na warunki meteorologiczne, poza pomiarami, potrzebne są modele numeryczne. W tej pracy, do oceny wpływu pokrycia terenu i aktywności na obszarze Warszawy na warunki meteorologiczne w mieście zastosowano kombinację renomowanego modelu atmosferycznego GEM (Global Environmental Multiscale) z parametryzacją modelem TEB (Town Energy Balance). Analiza tego typu jest ważna z naukowego punktu widzenia, ale również z powodu możliwych zastosowań użytych modeli np. do poprawy numerycznych prognoz pogody czy analizy rozprzestrzenia się zanieczyszczeń na obszarze miasta. W tym kontekście temat rozprawy Pani mgr inż. Anahity Sattari jest tematem ważnym a jego podjęcie celowe.

Zakres merytoryczny pracy

Podstawowym celem rozprawy doktorskiej jest analiza wpływu parametryzacji pokrycia terenu na obszarze Warszawy na strukturę warstwy granicznej nad tym obszarem. W tym celu wykorzystano model meteorologiczny GEM, zagęszczony na obszarze Warszawy z rozdzielczością poziomą 1 km. Wpływ efektów miasta w modelu GEM uwzględniono poprzez parametryzację TEB. Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anahity Sattari jest napisana w języku angielskim. Praca składa się z pięciu rozdziałów i liczy 113 stron.

W rozdziale pierwszym rozprawy, czyli we wstępie przedstawiony jest krótki zarys pracy i jej najważniejsze elementy. Następnie omówiony jest w skrócie proces urbanizacji, jego wpływ na warunki meteorologiczne i klimat na terenie miast oraz rola modeli numerycznych w ocenie tego wpływu. Kolejnym punktem są podstawowe informacje o Warszawie, której obszar jest przedmiotem badań, a ostatnim zarys poszczególnych rozdziałów pracy.

Podstawy teoretyczne problemu będącego tematem pracy oraz przegląd literatury z nim związanej są treścią rozdziału drugiego. Urbanizacja ma znaczny wpływ na podstawowe parametry meteorologiczne takie jak ciśnienie, temperatura, wilgotność i pole prędkości, a tym samym na lokalną pogodę i klimat na obszarze miejskim. Autorka omawia i dyskutuje wpływ najważniejszych czynników na meteorologię miejską. Pierwszym z nich jest specyficzne dla miast pokrycie powierzchni z budynkami, parkingami, drogami komunikacyjnymi i obszarami z nawierzchnią utwardzoną. Szczególną rolę w parametryzacji powierzchni miejskiej odgrywają pojęcia kanionu miejskiego i współczynnika widoku nieba omawiane w tym rozdziale. Kolejnym tematem rozdziału drugiego są lokalne strefy klimatyczne dla obszaru miejskiego. Ich wprowadzenie wynika z faktu, że w opisie warunków miejskich nie tylko fizyczne cechy powierzchni są istotne, ale również inne czynniki jak np. różnego rodzaju aktywności mieszkańców. Przedstawiona tu jest klasyfikacja lokalnych stref klimatycznych zaproponowana przez Stewarta i Oke, zawierająca łącznie 19 stref. Zabudowa miejska wpływa znacząco na strukturę warstwy granicznej. Autorka omawia i dyskutuje ogólne cechy warstwy granicznej nad obszarem miasta, różnice pomiędzy warstwami granicznymi nad zabudowa miejską i rejonem nieurbanizowanym, a także ważną dla obszarów miejskich część warstwy granicznej – warstwę dachową. Powierzchniowy bilans energetyczny to jeden z podstawowych parametrów determinujących strukturę warstwy

granicznej w ogólności, a szczególnie na obszarach miejskich. Autorka omawia podstawowe równania powierzchniowego bilansu energetycznego na obszarze miejskim, a także cechy charakterystyczne pokrycia terenu zurbanizowanego mające wpływ na ten bilans. Kolejnym tematem rozdziału drugiego jest miejska wyspa ciepła nieodłącznie związana z mikroklimatem miejskim. W pracy przedstawione są przyczyny powstawania miejskiej wyspy ciepła oraz jej podstawowe właściwości. W przypadku modelowania pogody i klimatu na obszarach miejskich dużą rolę odgrywają modele warstwy dachowej, reprezentujące te obszary i pozwalające na bardziej precyzyjne określenie parametrów meteorologicznych. Autorka omawia, porównuje i ocenia te modele, a w szczególności model TEB, którego później używa w obliczeniach. Zaletą modelu TEB jest jego względna prostota, a jednocześnie możliwość uwzględnienia w nim większości zjawisk fizycznych potrzebnych do określenia bilansu energetycznego na obszarze miasta. Drugą zaletą modelu TEB to możliwość jego współpracy w czasie rzeczywistym z numerycznym modelem atmosferycznym, a w szczególności z modelem GEM oraz możliwość transferu energii turbulencyjnej oraz strumieni z modelu TEB do modelu atmosferycznego. Ostatnia część rozdziału drugiego poświęcona jest analizie czułości dla potrzeb modelowania klimatu miejskiego. Pojęcie analizy czułości jest dość szerokie. W tym przypadku chodzi głównie o analizę czułości modeli meteorologicznych na sposób parametryzacji warstwy dachowej, ale nie tylko. Autorka omawia wyniki analiz czułości przedstawione w szeregu istotnych publikacjach na ten temat. Rozdział drugi obejmuje również szeroki przegląd literatury w tym najważniejsze pozycje związane z tematem pracy.

Rozdział trzeci jest rozdziałem merytorycznym, który określa cele pracy oraz sposoby ich osiągnięcia. Ogólnym celem pracy jest analiza wpływu pokrycia terenu i środowiska miejskiego Warszawy na warunki meteorologiczne na obszarze miasta. W pracy wykorzystano dwa wspomniane wcześniej modele numeryczne połączone on-line, model meteorologiczny GEM i model bilansu energetycznego TEB. Zastosowana metoda to analiza czułości przy wykorzystaniu tych modeli, danych meteorologicznych oraz danych o terenie i jego użytkowaniu na obszarze Warszawy. Model prognostyczny GEM opracowany w Kanadyjskim Centrum Meteorologicznym jest dobrze znany w środowisku naukowym i często wykorzystywany w celach badawczych. Może działać w różnych skalach, ze zmienną rozdzielczością przestrzenną i czasową. Głównym zadaniem modelu TEB jest poprawa parametryzacji terenu miejskiego. Dotychczasowe zastosowania kombinacji modeli GEM i TEB cytowane w pracy wskazują na dobrą symulację warstwy granicznej nad obszarami

testowanych miast w różnych warunkach pogodowych. Między innymi z tego względu układ modelowy GEM-TEB zastosowano w pracy. Obliczenia zorganizowano w systemie kaskadowym w ten sposób, że najpierw uzyskiwano dane meteorologiczne z globalnej wersji modelu GEM z rozdzielczością 5 km. Następnie stosowano wersję LAM (Limited Area Model) modelu GEM, zagęszczoną z rozdzielczością 1 km na obszarze obejmującym Warszawę. W wersji LAM działał on-line model TEB. Informacja o rodzajach terenu w aglomeracji Warszawskiej, ich pokryciu i sposobach użycia jest kluczową dla modelowania warunków atmosferycznych nad obszarem miasta. W modelu GEM używane jest 26 klas, które opisują pokrycie terenu, przy czym tylko jedna klasa przypisana jest terenowi miejskiemu. W modelu TEB pokrycie i użytkowanie terenu zdefiniowane jest przy pomocy 12 klas. W pracy wykorzystano klasyfikację pokrycia terenu CORINE zawierającą 44 klasy i dostępną z rozdzielczością 1 km na obszarze Polski. Przy pomocy narzędzia GIS i danych z inwentaryzacji CORINE określono 12 klas pokrycia i użytkowania terenu na obszarze Warszawy wymaganych przez model TEB. Obliczenia modelowe wykonano dla czterech wybranych przypadków, czterech dni roku 2010 reprezentujących różne warunki meteorologiczne dla różnych pór roku: wiosna, późna wiosna, lato i jesień. Dla każdego z tych przypadków okres prognozy obejmował 24 godziny z krokiem czasowym 15 sekund. Najpierw wykonywano obliczenia modelem GEM bez użycia modułu TEB, a następnie obliczenia modelem GEM połączonym interaktywnie z modułem TEB. W ramach analizy czułości wykonano obliczenia dla trzech scenariuszy z modyfikacjami klasyfikacji pokrycia terenu i jego użytkowania w parametryzacji TEB. Scenariusz pierwszy to obliczenia modelem połączonym interaktywnie ze standardowym modułem TEB. W scenariuszu drugim budynki niższe zostały zastąpione budynkami wysokimi, zaś w scenariuszu trzecim jedynym pokryciem terenu miasta była wegetacja naturalna. Rezultaty obliczeń modelowych w postaci wybranych parametrów meteorologicznych takich jak temperatura, wilgotność, natężenie opadu oraz energia turbulencyjna analizowane były pod kątem ich zmienności dobowej oraz ich wpływu na strukturę warstwy granicznej nad obszarem Warszawy. Warunki meteorologiczne dla każdego z wybranych do obliczeń dni zostały opisane pod kątem sytuacji synoptycznej na terenie Polski. Dzienną temperaturę i natężenie opadów pokazano również na tle ich przebiegów w okresie całego miesiąca zawierającego wybrany przypadek. W analizie wyników obliczeń wykorzystano pomiary wykonane na wybranych sześciu stacjach na terenie miasta zaprojektowanych do monitorowania warunków drogowych. Na każdej z tych stacji mierzono temperaturę powietrza, temperaturę na powierzchni drogi, wilgotność względną, prędkość wiatru na wysokości 9,5 m, kierunek wiatru oraz turbulencyjny strumień

ciepła jawnego obliczany metodą profilową. Wysokości na których zainstalowane są instrumenty pomiarowe są różne dla poszczególnych stacji, jednak we wszystkich przypadkach są one wyższe niż średnie wysokości przeszkód terenowych otaczających te stacje. W pracy przedstawiono lokalizacje wybranych stacji na terenie Warszawy oraz krótką charakterystykę każdej z nich.

Tematem rozdziału czwartego jest prezentacja uzyskanych wyników obliczeń, ich interpretacja oraz dyskusja. Rozdział ten składa się z trzech części. Część pierwsza poświęcona jest strukturze warstwy granicznej nad Warszawą uzyskanej w wyniku obliczeń modelem GEM z uwzględnieniem modułu TEB i bez uwzględnienia tego modułu. Część druga omawia rezultaty analizy czułości dla trzech scenariuszy modułu TEB, a w szczególności wpływ poszczególnych scenariuszy na miejską wyspę ciepła nad obszarem Warszawy. Część trzecia poświęcona jest porównaniu wyników obliczeń modelu z pomiarami dostępnymi na obszarze Warszawy. Szczegółowa analiza i dyskusja struktury warstwy granicznej przeprowadzona została dla wybranych dni i obejmowała porównanie wyników modelu GEM z parametryzacją TEB i bez niej. W analizie wzięto pod uwagę pionowe profile temperatury, wirtualnej temperatury potencjalnej, wilgotności właściwej oraz turbulencyjnej energii kinetycznej. Pokazano różnice w uzyskanych wynikach oraz przedyskutowano ich przyczyny. Analiza czułości obejmowała porównanie wyników obliczeń modelu GEM dla trzech wspomnianych wcześniej scenariuszy modułu TEB. Przedstawiono wyniki modelu dla wszystkich scenariuszy. Przedyskutowano różnice między nimi pod kątem generacji miejskiej wyspy ciepła a także przeanalizowano powody tych różnic. Kolejnym tematem rozdziału czwartego była ocena działania modelu GEM i jego możliwości prognostycznych dla obszaru Warszawy. Wyniki modelu porównano z pomiarami na wybranych stacjach w Warszawie dla dwóch scenariuszy, z modułem TEB i bez tego modułu. Porównywanym elementem była temperatura, zaś miary statystyczne to: odchylenie standardowe, bezwzględny błąd całkowity oraz współczynnik korelacji Pearsona. Porównanie wykonano dla wszystkich symulowanych dni-przypadków. Rozdzielczość czasowa wyników modelu wynosiła 10 minut, ale porównanie wykonano dla wartości uśrednionych po jednej godzinie. Poza miarami statystycznymi przedstawiono i przedyskutowano, dla wszystkich rozważnych przypadków, ilustracje dziennych przebiegów temperatury dla dwóch scenariuszy i pomiarów dostępnych na stacjach. Przedstawione rezultaty zostały szczegółowo omówione i zinterpretowane.

Ostatni piąty rozdział pracy to wnioski z wykonanych badań i sugestie kierunków dalszych związanych z tematem tej rozprawy.

Bibliografia cytowana w pracy obejmuje 93 pozycje w języku angielskim i jedną w języku niemieckim.

Ocena wartości naukowej rozprawy

Temat rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Anahity Sattari jest interesujący i ważny nie tylko z naukowego punktu widzenia, ale również ze względów praktycznych.

Niewątpliwie oryginalnym i nowatorskim elementem pracy jest zastosowanie kombinacji modelu atmosferycznego GEM z modelem bilansu energetycznego TEB do badania wpływu podłoża na warstwę graniczną na terenie Warszawy. Modele te użyte zostały po raz pierwszy do badania struktury warstwy granicznej nad obszarem Warszawy oraz do analizy czułości na parametryzacje podłoża. Uzyskane wyniki przyczyniły się do lepszego poznania warstwy granicznej nad Warszawą i jej zależności od sposobu parametryzacji podłoża

Wartościowym elementem jest również zwarte, a jednocześnie wyczerpujące przedstawienie w rozdziale drugim teoretycznego tła badań opisanych w pracy połączone z obszernym przeglądem literatury związanej z tematem rozprawy.

W pracy skupiono się na czterech przypadkach-dniach, które miały reprezentować typowe pory roku w Polsce, a w szczególności w Warszawie. Uwzględnienie różnych warunków meteorologicznych dla różnych pór roku jest niewątpliwie zaletą pracy. Zaletą pracy jest także szczegółowy opis i analiza warunków meteorologicznych dla każdego z przypadków, również na tle przebiegu podstawowych parametrów meteorologicznych w okresie miesiąca. Pojawia się jednak pytanie, dlaczego jako typowe pory roku do symulacji wybrano zimą, wiosną, późną wiosną i lato a pominięto w nim jesień. Brakuje tu uzasadnienia właśnie takiego wyboru pór roku a także szerszego uzasadnienia wyboru poszczególnych dni-przypadków.

Porównanie struktury miejskiej warstwy granicznej dla scenariuszy z parametryzacją TEB i bez niej były celem pierwszego etapu analizy czułości. Wyniki tego porównania wskazują, że w scenariuszu z parametryzacją TEB inwersja nocna jest słabsza, temperatura wyższa, warstwa graniczna nad miastem niestabilna w okresie zimowym i mniej wilgotna w okresie letnim zaś turbulencyjna energia kinetyczna wyższa. Te przedstawione w skrócie

wnioski zostały szczegółowo omówione i uzasadnione w pracy i stanowią jej wartościowy element.

W etapie drugim analizy czułości porównano trzy scenariusze, w tym dwa z modyfikacjami modułu TEB, pierwszy z parametryzacją niezmienną, drugi w którym wszystkie budynki były wysokie i trzeci z pokryciem wegetacją naturalną. Na tym etapie szczególną uwagę zwrócono na zjawisko miejskiej wyspy ciepła nad Warszawą. W okresie wiosny i późnej wiosny, pojawiała się wyraźnie wyspa ciepła nad Warszawą, przy czym największe różnice temperatur odnotowano dla scenariusza z wysokimi budynkami. Również dla tego scenariusza temperatura powierzchni była najwyższa dla wszystkich analizowanych przypadków. Najwyższa wilgotność właściwa, dla cieplejszych pór roku, wystąpiła dla scenariusza z wegetacją naturalną, z największą różnicą w czasie dnia. W okresie wiosny i późnej wiosny słabe opady wystąpiły jedynie w scenariuszu z wysokimi budynkami. Dla wszystkich analizowanych przypadków turbulencyjna energia kinetyczna była najwyższa dla scenariusza z wysokimi budynkami. Ponownie, przedstawione skrótowo wnioski powyżej zostały szczegółowo omówione i uzasadnione w pracy przyczyniając się do jej pozytywnej oceny.

Bardzo cennym elementem pracy jest porównanie wyników modelu z dostępnymi pomiarami na stacjach zlokalizowanych w Warszawie przeprowadzone w etapie trzecim analizy czułości. Obliczoną i zmierzona temperaturę przy powierzchni gruntu porównano dla wszystkich analizowanych przypadków. Okazało się, że model stosunkowo dobrze symuluje dzienny przebieg temperatury dla okresów wiosny, późnej wiosny i lata, co potwierdza dobra korelacja uzyskanych wyników z pomiarami. Problem występuje dla przypadku zimy, gdy model wyraźnie zaniża temperaturę pod koniec dnia, przy czym błąd jest zdecydowanie mniejszy dla obliczeń z parametryzacją TEB. Jednak dla obu scenariuszy współczynnik korelacji wyników obliczeń z pomiarami jest bliski zeru. Wbrew pozorom ta niezgodność wyników modelu z pomiarami dla okresu zimowego też jest wartościowym elementem pracy, ponieważ wskazuje na kierunek dalszych badań prowadzących do poprawy działania modeli GEM i TEB.

Bibliografia cytowana w pracy jest obszerna i zawiera najważniejsze pozycje związane z jej tematem. Natomiast brak w niej publikacji, których autorem bądź współautorem jest autorka tej rozprawy doktorskiej.

Oceniając rozprawę doktorską Pani mgr inż. Anahity Sattari chcę podkreślić, że ma ona logiczny i przejrzysty układ treści, zawiera wszystkie istotne informacje i czyta się ją z zainteresowaniem.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana praca zawiera szereg nowatorskich i wartościowych elementów. Należą do nich między innymi: zastosowanie zaawansowanych narzędzi numerycznych do przeprowadzonych badań nad obszarem Warszawy, efektywne wykorzystanie metody analizy czułości, dogłębna analiza wpływu parametryzacji podłoża na warunki meteorologiczne nad obszarem Warszawy oraz porównanie wyników uzyskanych z modelu z dostępnymi pomiarami.

Podsumowując, rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anahity Sattari przyczynia się w sposób istotny do pogłębienia stanu wiedzy o strukturze warstwy granicznej nad obszarem miasta w ogólności, a szczególnie o wpływie parametryzacji aktywności i pokrycia terenu na obszarze Warszawy na jej warstwę graniczną.

Biorąc to pod uwagę, stwierdzam, że oceniana przeze mnie rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.).

W oparciu o powyższe wnoszę o dopuszczenie Pani mgr inż. Anahity Sattari do dalszych etapów postępowania doktorskiego, w tym do publicznej obrony.

