

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

Author: Anahita Sattari

Supervisor: Prof. dr hab. inż. Jacek W. Kamiński

Abstract

Over half of the world's population live in urban areas, even though urban agglomerations cover only 0.05% of the Earth's surface. Urbanisation significantly modifies the surface level's moisture, radiation balance, thermal stability, and aerodynamic properties. The physical processes in the urban surface layer directly influence the atmosphere above and, specifically, the atmospheric boundary layer. Thus, understanding and modelling these processes are necessary for studying urban meteorology.

The primary objective of the presented research was to assess the impact of the urban land cover on the development of the atmospheric boundary layer over Warsaw. To carry out the objective, a high-resolution version of the Global Multiscale Environmental model to examine its ability to reproduce the diurnal cycle of the meteorological parameters, including the thermal and turbulent structure of the atmosphere. The Town Energy Balance (TEB) parameterisation was used to represent urban effects on modelled meteorological parameters at the final nesting level with a horizontal resolution of 1 km over Warsaw. Mid-high buildings, sparse buildings, industrial areas, roads and parking spaces, and a mix of built and nature are the urban cover categories used in the TEB parameterisation. Four one-day cases representing different meteorological conditions and seasons were selected for modelling.

The model was run with and without the TEB parameterisation in the first step. The boundary layer profiles for temperature, specific humidity, potential temperature, and turbulent kinetic energy to the height of 3000 m and temperature cross-sections over Warsaw were studied for two 'NO-TEB' and 'TEB' scenarios.

In the second step, sensitivity analysis was performed by comparing three scenarios with different descriptions of land uses and land covers for urban areas: 1. City scenario using the TEB classification; 2. High building only scenario where the city is covered with impervious high buildings land cover; 3. Vegetation only for which city is replaced by the surrounding natural covers.

The differences in temperature, specific humidity, and turbulent kinetic energy were studied for these scenarios. Sensitivity analysis showed that the differences are significant for the winter case

between the high building and vegetation scenarios and are smaller for the summer case. However, in all three scenarios, the temperature and turbulent kinetic energy are the lowest for the vegetation scenario and the highest for the high buildings scenario.

In the last step, temperature error measures were calculated for six stations in Warsaw for selected cases. The comparison of observed and modelled temperature shows that the temperature predicted with the TEB parameterisation was more accurate in terms of statistical error measures on January 29, April 24. However, on June 6 and July 23, the difference between the two scenarios was not high.

Streszczenie

Urbanizacja znacząco modyfikuje właściwości powierzchni terenu, wpływając na cykl dobowy i zmienność pionową elementów meteorologicznych w granicznej warstwie atmosfery. Ze względu na liczbę mieszkańców miast obejmującą ponad połowę ludności świata, zrozumienie i modelowanie tych procesów jest niezbędne do wsparcia zarządzania funkcjonowania miast i planowania przestrzennego.

Celem pracy jest ocena wpływu pokrycia terenu na kształtowanie się warstwy granicznej atmosfery nad Warszawą. W pracy wykorzystano model meteorologiczny - Global Environmental Multiscale model zagnieżdżony nad Warszawą, z rozdzielczością poziomą 1 km, w połączeniu z parametryzacją Town Energy Balance. Jako okres symulacji wybrano cztery jednodniowe okresy reprezentujące różne warunki meteorologiczne i pory roku. W pierwszym etapie analizowano profile temperatury, wilgotności właściwej, temperatury potencjalnej i energii kinetycznej turbulencji do wysokości 3000 m oraz przekroje temperatury nad Warszawą dla dwóch konfiguracji modelu, z parametryzacją TEB i bez parametryzacji miasta.

W drugim etapie przeprowadzono analizę wrażliwości modelu, porównując trzy scenariusze z różnymi opisami użytkowania i pokrycia terenu dla obszarów miejskich: 1. Warunki rzeczywiste (jak w etapie pierwszym); 2. cała powierzchnia zabudowana miasta opisana jako budynki wysokie; 3. cała powierzchnia miasta opisana jako tereny naturalne.

Analiza wrażliwości wykazała, że różnice temperaturze, wilgotności właściwej i energii kinetycznej turbulencji są bardziej znaczące dla przypadku zimowego, niż dla przypadku letniego. We wszystkich trzech scenariuszach temperatura i energia kinetyczna turbulencji są najniższe w scenariuszu z roślinnością i najwyższe w scenariuszu z wysokimi budynkami.

W ostatnim kroku obliczono miary błędu temperatury dla sześciu stacji w Warszawie dla wybranych przypadków. Z porównania temperatury obserwowanej i modelowanej wynika, że temperatura prognozowana z parametryzacją TEB pozwoliła uzyskać niższe miary błędu statystycznego dla scenariuszy zimowych i wiosennych. Natomiast w okresie letnim różnica między tymi dwoma scenariuszami nie była duża.