

Streszczenie

Letnim zjawiskom konwekcyjnym często towarzyszą groźne zjawiska pogodowe, jak wyładowania atmosferyczne, silny wiatr, ekstremalne opady i powodzie błyskawiczne. Z tego powodu dokładne prognozy pogody zwiększają bezpieczeństwo ludzi, mienia i różnych systemów transportu. Obecnie numeryczne prognozy pogody (NPP) pozwalają na prognozowanie gwałtownych zjawisk konwekcyjnych z kilkugodzinnym wyprzedzeniem. Przy braku silnego wymuszania synoptycznego czy orograficznego modele NPP są jednak podatne na błędy wynikające na przykład z trudności w reprezentacji mechanizmów inicjacji konwekcji. Przyczyną bywa rozdzielczość modeli niedostosowana do rozwiązywania procesów warstwy granicznej lub zbyt mała liczba obserwacji meteorologicznych dostępnych dla schematów asymilacji danych.

Niniejsza praca opisuje gwałtowny system konwekcyjny (burzę), który rozwinął się w dniu 21 sierpnia 2007 nad Pojezierzem Mazurskim (Poj. Mazurskim), a następnie dokumentuje badania nad możliwością odtworzenia burzy z pomocą dzisiejszych modeli konwekcyjno-skalowych. Opisana burza spowodowała powstanie porywów wiatru do 35 m s^{-1} oraz wysokich fal na jeziorach. Te zjawiska spowodowały rozległe zniszczenia i aż kilkanaście ofiar śmiertelnych. Ówczesne systemy NPP w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytucie Badawczym (IMGW-PIB) nie były wystarczająco zaawansowane, aby jawnie prognozować burze. Obecnie tamta burza okazuje się być wyzwaniem dla konwekcyjno-skalowych modeli NPP z uwagi na ograniczoną dostępność powierzchniowych i troposferycznych obserwacji meteorologicznych z terenu Europy Środkowo-Wschodniej, które mogłyby być wykorzystane do asymilacji w systemach NPP.

Ważnymi elementami pracy są zebranie i analiza dostępnych danych meteorologicznych z dnia 21 sierpnia 2007. W szczególności praca zawiera opis sytuacji synoptycznej oraz lokalne obserwacje mezoskalowe sprzed chwili rozwoju burzy. Analiza pokazuje, że burza rozwinęła się w podzwrotnikowej masie powietrza w sytuacji braku wymuszania synoptycznego, ale przy obecności mezoskalowego powierzchniowego odpływu zimnego powietrza pochodzącego od wcześniejszych rozproszonych burz. Po stronie zawiętrzej tych burz zaobserwowano w warstwie powierzchniowej pas wilgotnego powietrza. Pas był wydłużony w kierunku północno-północno-zachodnim, a zarejestrowane temperatury punktu rosy przewyższały 20°C . Ponadto według symulacji

NPP południowo-południowo-wschodnie wiatry średnio-nisko troposferyczne nad Poj. Mazurskim były najprawdopodobniej zlokalizowane ponad tym pasem wilgotnego powietrza. Te czynniki wytworzyły warunki sprzyjające rozwojowi i szybkiemu przemieszczaniu się burzy, która mogła zorganizować się w burzę przybierającą kształt łuku (na obrazie radarowym).

Analizowana burza jest złożonym przypadkiem dla NPP, ponieważ rozwinęła się wskutek przejściowo sprzyjających warunków w warstwie powierzchniowej, wiatrów średnio-nisko troposferycznych i niewielkiej mechanicznej destabilizacji atmosfery. W celu konwekcyjno-skalowego modelowania tej burzy został wykorzystany model NPP COSMO. Dwa zestawy danych globalnych zostały zbadane pod kątem użyteczności generowanych z nich warunków początkowych i brzegowych dla symulacji w ograniczonej domenie nad Polską. Dane reanalizy ERA-5 oceniono jako lepsze i wykorzystano do wygenerowania danych początkowych i brzegowych symulacji konwekcyjno-skalowych. Pierwsze symulacje NPP wskazały, iż potrzeba wykonać szereg modyfikacji danych pochodzących z reanalizy, aby odtworzyć warunki środowiskowe adekwatne do warunków sprzed burzy nad Poj. Mazurskim. Te modyfikacje polegały na asymilacji obserwacji zebranych do południa dnia 21 sierpnia 2007 opisujących warunki gruntowe, powierzchniowe i górne sprzed burzy.

Niezbędne okazało się też wprowadzenie do symulacji jawnego mechanizmu inicjacji konwekcji. Przetestowano jego deterministyczną i stochastyczną wersję. Schemat stochastyczny okazał się być lepszym w przypadku około-kilometrowej konwekcyjno-skalowej symulacji NPP COSMO, ponieważ prowadził do realistycznie wyglądającego obrazu rozwoju burzy w kształcie łuku i generującego silne porywy wiatru. To też oznacza, że model NPP COSMO jest w stanie odtworzyć powstanie i rozwój burzy nad Poj. Mazurskiego o ile pracuje na wysoce realistycznych danych i jest rozszerzony o skuteczny mechanizm pobudzający start konwekcji. Konfiguracja z mechanizmem stochastycznym została użyta w dodatkowych testach dotyczących wrażliwości modelu w reprezentowaniu burzy w kształcie łuku w przypadku zwiększenia rozdzielczości siatki poziomej oraz zmiany schematu mikrofizyki chmurowej. Dyskusja symulacji NPP zawiera ocenę wpływu tych modyfikacji na dynamikę systemu burzowego i wynikające z niej zmiany w wielkości i strukturze symulowanych przypowierzchniowych porywów wiatru.

Podsumowując, analizy obserwacji meteorologicznych i wykonane symulacje numeryczne pokazują złożone środowisko oraz trudny do odtworzenia łańcuch zdarzeń prowadzący do rozwoju systemu burzowego w kształcie łuku z towarzyszącymi niebezpiecznymi zjawiskami meteorologicznymi. Niniejsza praca przedstawia badanie możli-

wości operacyjnego prognozowania tego systemu konwekcyjnego za pomocą współczesnego konwekcyjno-skalowego modelu NPP COSMO w ramach dyscypliny naukowej inżynieria środowiska.

Słowa kluczowe: głęboka konwekcja, modelowanie konwekcyjno-skalowe, burza w kształcie łuku, stochastyczne wzbudzenie konwekcji