

SZAJEWSKA Anna¹

SYMULACJA ROZPRZESTRZENIANIA POŻARÓW LASÓW

W pracy przedstawiono środowisko komputerowe przeznaczone do symulacji pożarów lasów. W 2004 roku w Polsce wdrożony został system leśnej mapy numerycznej, który w połączeniu z krótkoterminową cyfrową mapą pogody umożliwia dostarczenie niezbędnych danych wejściowych do symulacji komputerowej. Za pomocą opracowanego programu, można przeprowadzać symulacje w zmiennych warunkach środowiskowych na różnych obszarach leśnych. Wynik pracy zapewnia dostępność narzędzia wspomagającego podejmowanie decyzji oraz umożliwia szacowanie strat w warunkach podwyższonego ryzyka zagrożeniem pożaru lasu. Opracowany program posiada także wymiar edukacyjny i szkoleniowy dla studentów, analityków oraz służb bezpieczeństwa pożarowego.

SIMULATING THE SPREAD OF FOREST FIRES

The article presents the computer environment designed to simulate a forest fire. In 2004 Poland has implemented system of numeric maps of forests, which, in combination with a digital weather forecast map can provide the necessary input for computer simulation for a mathematical model. With the aid of the developed program, simulations under variable conditions can be carried out within different forest areas. The outcomes of the paper provides accessibility of a tool supporting the decision making process and assessing the damages in the high risk conditions of a forest fire. This work has also an educational value to analysts, students and fire security services.

1. WSTĘP

Pomimo rozwiniętych technik numerycznych i dużych możliwości obliczeniowych komputerów, problem prognozowania obszaru powierzchni spalonej podczas pożaru lasu, nie został rozwiązany. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest różnorodność środowiska, gatunków, wieku drzewostanu oraz wielu innych czynników dotyczących danego obszaru. Istnieje jednak możliwość prognozowania przebiegu pożaru i obszaru powierzchni spalonej w oparciu o punkt zapalny i aktualne dane pogodowe i topograficzne.

¹ Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, 01-629 Warszawa; ul. J. Słowackiego 52/54. Tel. +48 22 5617 513, E-mail: ania.szajewska@gmail.com

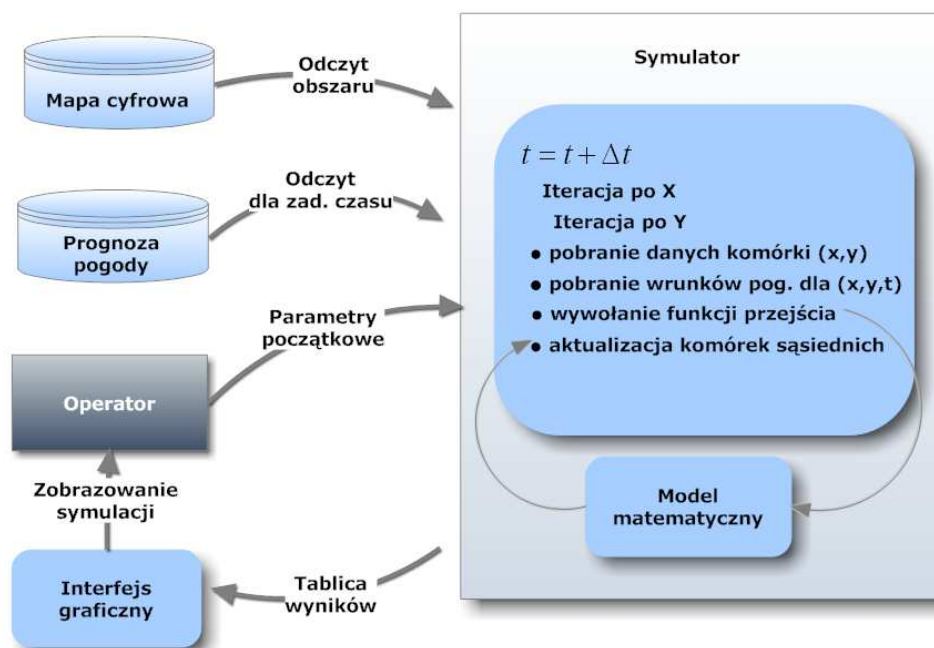
Opracowywanych jest wiele programów komputerowych dotyczących symulacji pożarów lasów. Jednak nie można, zaadoptować ich do polskich warunków, gdyż dotyczą one głównie wielkoobszarowych pożarów lasów, które w Polsce występują bardzo rzadko.

Problemem stanowi również to, że aplikacje opracowywane są głównie dla konkretnych warunków panujących na danym terenie, uwzględniając warunki topograficzne i materiał palny.

W 2004 roku w Polsce wdrożono system leśnej mapy numerycznej, który w połączeniu z krótkoterminową cyfrową mapą pogody umożliwia dostarczenie niezbędnych danych wejściowych do symulacji komputerowej [5]. Opracowywany program komputerowy do polskich warunków, dotyczy średniej wielkości pożarów lasów typu ściółkowego.

2. METODYKA

Do opracowania symulacji komputerowej wykorzystano cyfrowe mapy lasów oraz prognozę pogody w postaci numerycznej. Na rys.1 przedstawiono idee działania symulacji pożaru lasu w postaci diagramu przepływu danych.

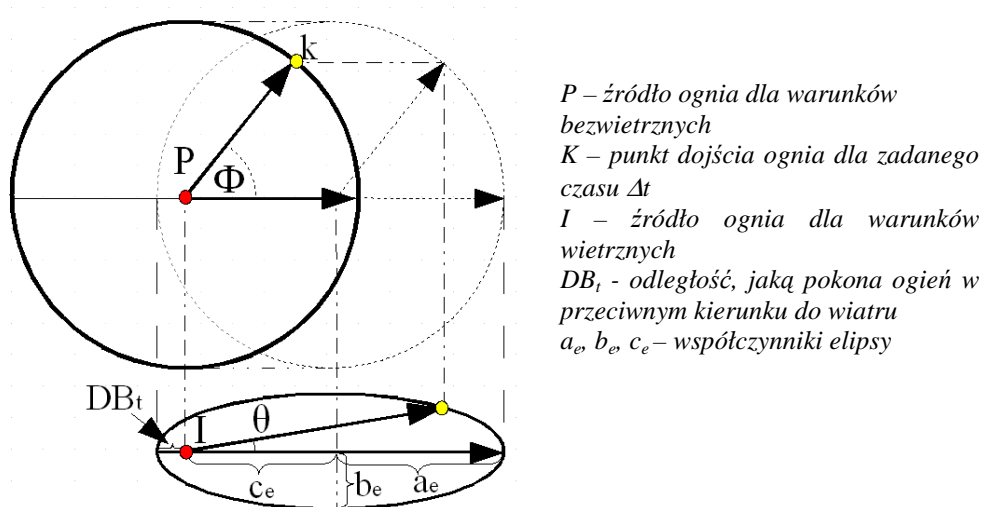


Rys. 1. Diagram przepływu danych.

2.1 Wyznaczanie prędkości rozprzestrzeniania się ognia

Przyjmuje się, że w homogenicznym środowisku, przy bezwietrznej pogodzie, pożar przybiera kształt okręgu. Natomiast, gdy wieje jednolity wiatr, przybiera kształt elipsy

[1, 2, 3, 4, 5] (rys.3). Przystępna interpretacja matematyczna i łatwość obsługi w zakresie danych wejściowych przyczyniły się do ogólnego przyjęcia takiego kształtu dla komputerowych modeli symulacji pożarów lasów. Przyjęty model zgodny z zasadą Huygensa najlepiej odwzorowuje rzeczywistość przy założeniu niezmiennych warunków. Pomimo, że kierunek wiatru w rzeczywistości może się zmieniać, to przy odpowiednio małym interwale czasowym kroku symulacji, zmienność wiatru ma marginalne znaczenie. Przejście z warunków bezwietrznych do warunków z czynnikiem wiatru przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Transformacja prędkości rozprzestrzeniania się ognia w zależności od wektora prędkości wiatru do układu przestrzennego

Wyznaczenie prędkości rozprzestrzeniania ognia umożliwia zastosowanie wzoru [1].

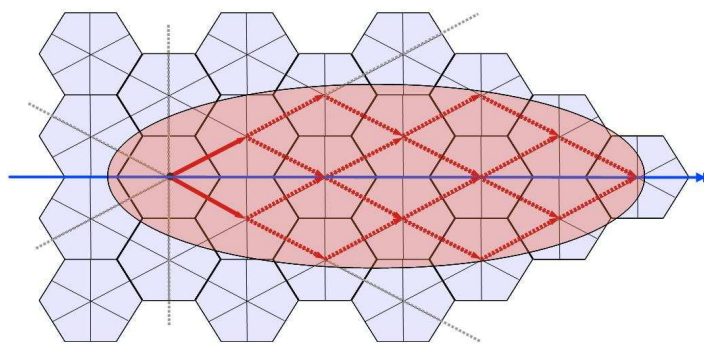
$$V_p = \frac{b_e(c_e \cos \Phi + a_e)}{\sqrt{b_e^2 \cos^2 \Phi + a_e^2 \sin^2 \Phi}} \quad (1)$$

gdzie: V_p - prędkość rozprzestrzeniania ognia
 a_e, b_e, c_e - współczynniki elipsy

Należy zaznaczyć, że symulacja dotyczy pożaru ściółkowego, który znacząco przeważa w rzeczywistych akcjach gaśniczych na terenie Polski. Sposób wyznaczania współczynników elipsy opracowany został dla tego typu pożaru.

2.2 Zastosowanie modelu automatu komórkowego

Do wykonania programu symulacji pożaru lasu wykorzystano model automatu komórkowego. Przeznaczeniem modelu automatu komórkowego jest środowisko heterogeniczne. Las w modelu matematycznym przedstawiony jest w postaci dwuwymiarowej siatki heksagonalnych klastrów. Każdy klaster zajmują drzewa i ściółka leśna, które z punktu widzenia modelu stanowią paliwo. Faktyczna ilość paliwa jest zależna m.in. od typu lasu i podłoża występującego na obszarze danego klastra pobranego z cyfrowej mapy lasów. Każdy klaster przylega bokami w przestrzeni dwuwymiarowej do sześciu sąsiadów i może oddziaływać na swoich sąsiadów (rys. 3).



Rys. 3. Ścieżki przejść pomiędzy heksagonami z jednego punktu zapalnego w warunkach wietrznych

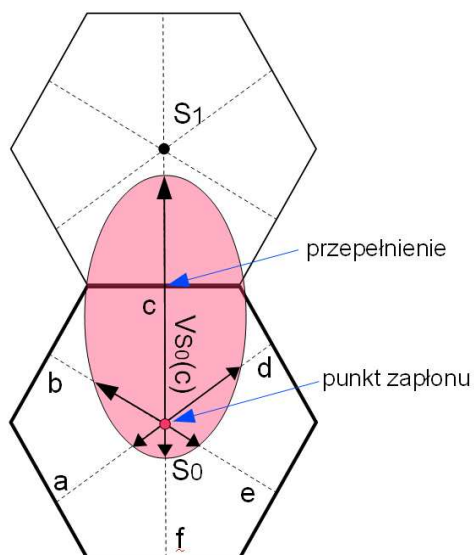
W każdym kroku symulacji uaktualniane są dane pogodowe. Stan klastra w chwili $t+1$ zależy od stanu wszystkich sześciu sąsiadów w chwili t i może być wyrażony wzorem funkcji przejścia [2]:

$$S_0^{t+1} = F(S_0^t, S_1^t(a), S_2^t(b), S_3^t(c), S_4^t(d), S_5^t(e), S_6^t(f)) \quad (2)$$

gdzie: $S_1 \dots S_6$ – sąsiedzi komórki S_0
 a..f – poszczególne boki heksagonu

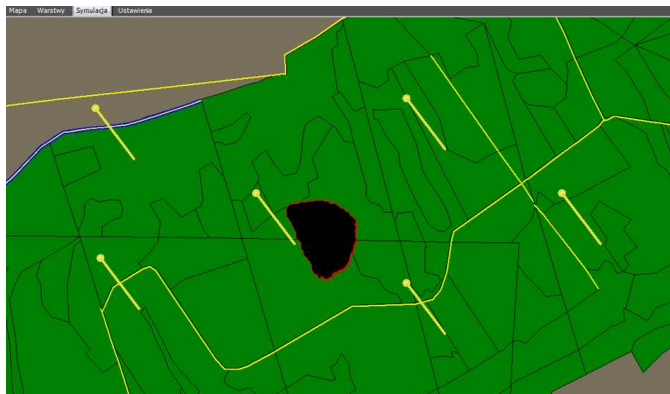
Heksagony do modelowania pożarów lasów zostały zastosowane z powodzeniem w modelu rozprzestrzeniania się ognia Rothemela [6]. W przyjętym synchronicznym modelu, zakłada się, że każdy automat posiada poza danymi o materiale palnym, sześć zmiennych do przechowywania wartości typu rzeczywistego. Od chwili dojścia ognia do środka heksagonu następuje rozprzestrzenianie się ognia w sposób ekspansywny na pozostałe boki klastra, zgodnie z modelem rozprzestrzeniania się ognia w danych warunkach topograficznych i panujących warunków meteorologicznych w danej chwili. Jeśli ogień dochodzi z kilku boków jednocześnie wówczas wektory prędkości są sumowane

a następnie po dotarciu do środka heksagonu następuje propagacja na kolejnych sąsiadów. Na rys. 4 przedstawiono ideę działania funkcji przejścia heksagonu.



Rys. 4. Idea działania funkcji przejścia heksagonu

Obliczenia wartości rzeczywistych dokonywane są w dyskretnym czasie z interwałem Δt . Jeżeli w czasie Δt długość wektora będzie większa od połowy krótszej przekątnej klastra i nastąpi przepełnienie, to w kolejnej iteracji zgromadzony nadmiar zostanie przekazany do sąsiada. Po przekazaniu nadmiaru, w komórce zapamiętywany jest całkowity czas dojścia pożaru do krawędzi komórki. Przed wykonaniem symulacji należy ustalić rozmiar klastra. Podczas skalowania, rozmiar klastra powinien być tak dobrany, aby w jednym kroku symulacyjnym nie następowało przepełnienie dla nowo zapalanej komórki. Zbyt małe klastry zwiększają złożoność obliczeniową. Wpływa to niekorzystnie na czas wykonania symulacji. Wyniki symulacji wyświetlane są w postaci graficznej (rys.5).



Rys.5. Widok ekranu symulacji komputerowej pożaru lasu przy zmiennym kierunku wiatru

2.3 Prognoza pogody

Ze względu na swoją specyfikę, program posiada możliwość uruchamiania w warunkach terenowych. Problemem było odbieranie prognozy pogody w miejscach bez dostępu do internetu i zasięgu telefonii cyfrowej. Niedogodność tą rozwiązano poprzez zastosowanie modemu satelitarnego Orbcomm (rys.6.). Rozwiązanie jest korzystne z uwagi na wykluczenie środków łączności wątpliwych w przypadku np. klęsk żywiołowych.



Rys.6. Modem satelitarny

Zastosowanie dookulnej anteny prętowej zapewnia łączność z satelitami orbitalnymi z czasem zwłoki 0.5 minut na południu i 0..10 minut na północy polski (zależnie od aktualnego ustawienia satelit, rys. 11).

3. WNIOSKI

Praca ma m.in. wymiar edukacyjny i szkoleniowy dla studentów, analityków i służb bezpieczeństwa pożarowego i cywilnego. Za pomocą opracowanego programu, można przeprowadzać symulacje w zmiennych warunkach środowiskowych na różnych obszarach leśnych. Na podstawie wyników symulacji można oszacować obszar powierzchni spalonej, zapotrzebowanie na wodę i środki gaśnicze dla różnych warunków pogodowych, z uwzględnieniem obciążenia ogniowego danego terenu oraz wyznaczyć najszybszą drogę dojścia pożaru.

Przedstawiony model automatu komórkowego zastosowany został w oprogramowaniu komputerowym. Aplikację opracowano przy użyciu narzędzia programistycznego RAD zawierającego pakiet kompilatora Delhi. Za pomocą opracowanego programu, można przeprowadzać symulacje w zmiennych warunkach przy zmieniającej się pogodzie.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Lopes A.M.G.: Cruz M.G., Viegas D.X., *FireSsation – an integrated software system for the numerical simulation of fire spread on complex topography*. Environmental Modelling and Software, 2002, 17, str 269-285.
- [2] McAlpine R.S.: *Temporal variations in elliptical forest fire shapes*. Canadian Journal Research, 1989, 19, str 1496-1500.
- [3] Pastor E., Zárate L., Planas E., Arnaldos J.: *Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behavior*. Progress in Energy and Combustion Science 2003, 29 str.139-153.
- [4] Richards G.D.: *The properties of elliptical fire growth for time dependent fuel and meteorological conditions*. Combustoin Science Technology, 1993, 92 str 145-171.
- [5] Wiler K.: *Ochrona lasów przed pożarami*. Centrum Informacyjne Lasów państwowych, Warszawa 2007.
- [6] Zhang Youngzhong, Z.-D. Feng, Han Tao, Wu Liyu, Li Kegong, Duan Xin,: *Simulating Wildfire Spreading Processes In A Spatially Heterogenous Landspacapes Using An Improved Cellular automatom Model*. 0-7803-8742-2/04/\$20.00(C) 2004 IEEE