

dr inż. Anna SZAJEWSKA

Zakład Hydromechaniki i Przeciwpożarowego Zaopatrzenia w Wodę, SGSP

WYKORZYSTANIE MODELU KOMÓRKOWEGO W OPROGRAMOWANIU SYMULACJI ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ POŻARU LASU

W artykule przedstawiono założenia do modelu automatu komórkowego pożaru lasu. Opisano elementy systemu symulacji komputerowej w aspekcie rozprzestrzeniania się ognia.

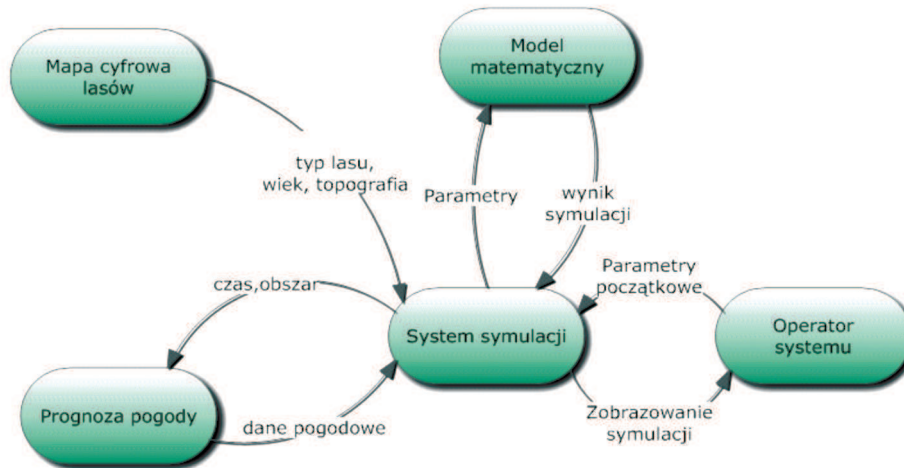
In the article the assumptions for the cellular model simulation of forest fire were presented. The elements of the computer simulation system in terms of fire spreading were described.

1. Wprowadzenie

Możliwość prognozowania obszaru powierzchni spalonej podczas pożaru lasu oraz wyznaczenia miejsca i czasu jego wystąpienia stanowiłaby narzędzie wspomagające dla leśników i służb jednostek gaśniczych. Problemu tego nie można rozwiązać, stosując numeryczne techniki komputerowe. Na podstawie corocznych danych statystycznych można stwierdzić, że zależności czasu trwania pożaru do pola powierzchni spalonej są z natury chaotyczne i prognozowanie ich na dłuższą skalę nie jest możliwe. Istnieje jednak możliwość prognozowania przebiegu pożaru i obszaru powierzchni spalonej w oparciu o punkt zapalny i aktualne dane.

2. Metodyka

Do opracowania symulacji komputerowej wykorzystano cyfrowe mapy lasów oraz prognozę pogody w postaci numerycznej (rys. 1).



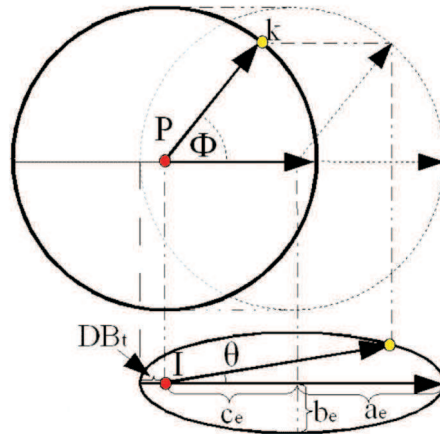
Rys. 1. Diagram kontekstowy programu

2.1. Prędkość rozprzestrzeniania się ognia

W jednorodnym środowisku, w warunkach, gdy nie ma wiatru, przyjmuje się, że front pożaru ma kształt okręgu. Natomiast gdy wieje jednolity wiatr, przybiera kształt elipsy [1, 2, 3, 4] (rys. 2, 3). Prosta interpretacja matematyczna i łatwość obsługi w zakresie danych wejściowych przyczyniły się do ogólnego przyjęcia takiego kształtu dla komputerowych modeli symulacji rozprzestrzeniania się pożarów lasów. Przyjęty model zgodny z zasadą Huygensa najlepiej odzwierciedla rzeczywistość przy założeniu niezmiennych warunków. Mimo 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.

Punkt P jest źródłem ognia dla warunków bezwietrznych, punkt K jest miejscem dojścia ognia dla zadanego czasu Δt . Kąt Φ jest zawarty pomiędzy kierunkiem wiatru a prostą PK. Aby uwzględnić wiatr, w modelu rozprzestrzeniania należy dokonać transformacji położenia punktu K leżącego na okręgu na punkt położony na obwodzie elipsy. Punkt ten będzie leżał na przecięciu prostej usytuowanej pod kątem θ do kierunku wiatru. Źródło ognia P ma te same współrzędne

rzeczywiste, co punkt I. Odcinek DB_t jest odległością, jaką ogień pokona w przeciwnym kierunku do wiatru. Wyznaczenie kąta Φ umożliwia zastosowanie wzoru [1].



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

$$\Phi = \cos^{-1} \frac{(b_e \cos \theta (b_e^2 \cos^2 \theta + (a_e^2 - c_e^2) \sin^2 \theta)^{0,5} - a_e c_e \sin^2 \theta)}{b_e^2 \cos^2 \theta + a_e^2 \sin^2 \theta} \quad (1)$$

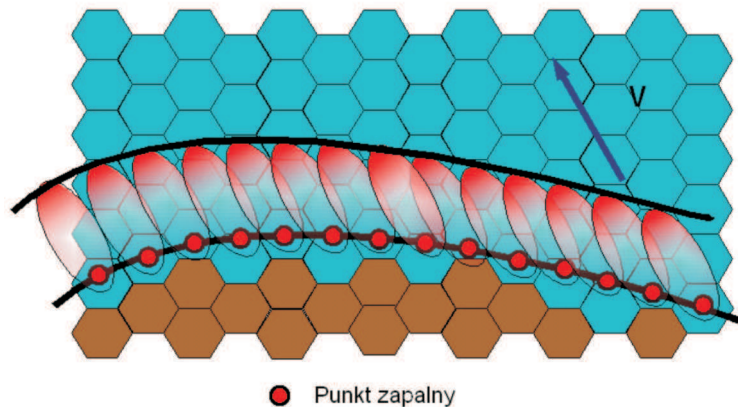
Współczynniki elips a_e , b_e , c_e są uzależnione od typu paliwa i prędkości wiatru. Na proporcje ma również wpływ wilgotność i typ ściółki. Wyznaczenie prędkości rozprzestrzeniania ognia umożliwia zastosowanie wzoru [2].

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

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 są paliwem. Fakty-

czna ilość paliwa jest odwzorowaniem rodzaju lasu i podłoża występującego na obszarze klastra pobranego z cyfrowej mapy lasów. Każdy klaster przylega bokami w przestrzeni dwuwymiarowej do sześciu sąsiadów.

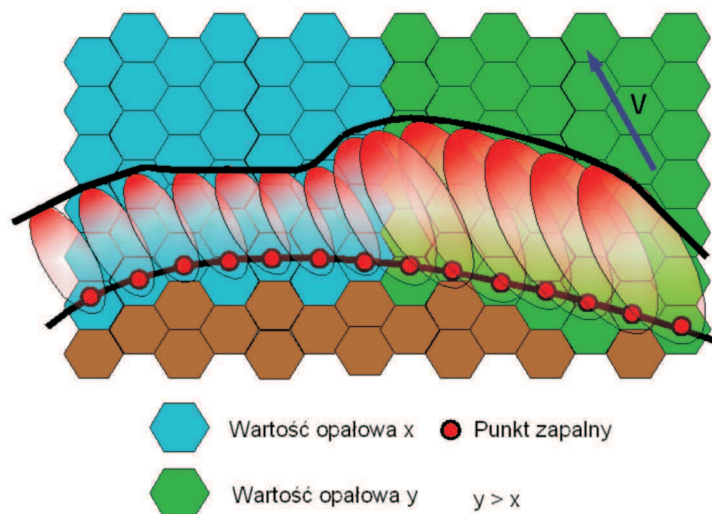


Rys. 3. Sześciokątny model automatu komórkowego

Źródło: opracowanie własne.

W każdym kroku symulacji uaktualniane są dane pogodowe, w których najważniejszym czynnikiem jest prędkość i kierunek wiatru.

Wiadomo [1, 2, 3, 4, 5], że nie tylko zmiany prędkości i kierunku wiatru, ale również inne czynniki, takie jak rodzaj i typ paliwa, asymetria zmian (warunki topograficzne), wpływają na kształt rozprzestrzeniania się ognia (rys. 4.)



Rys. 4. Zmiany prędkości ognia zależne od podłoża

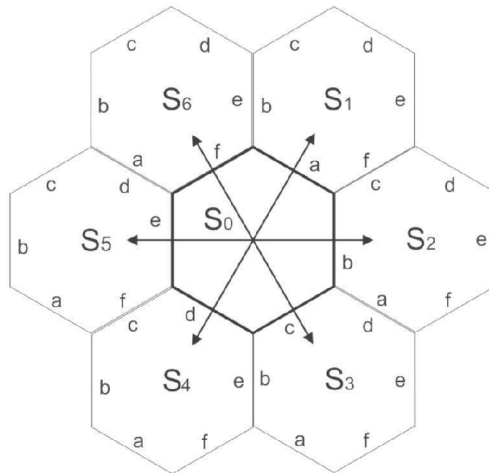
Źródło: opracowanie własne.

Stosując model sześciokątny, odległości do sąsiednich komórek zawsze są takie same, w odróżnieniu od modelu kwadratowego z funkcją sąsiedztwa Moore'a, gdzie sąsiedzi na przekątnych są w większej odległości niż sąsiedzi przylegający bokami. W automatach komórkowych stosowane są również modele oparte na siatce kwadratowej z funkcją sąsiedztwa von Neumanna, lecz wówczas ścieżka propagacji pożaru przebiegałaby metodą Manhattan, co nie przynosi dobrych rezultatów. Ponadto stosując model heksagonalny, wykonywana jest mniejsza liczba obliczeń, sprawdzanych jest sześciu sąsiadów komórki (rys. 5), podczas gdy w modelu kwadratowym sąsiadów jest ośmiu.

Stan klastra w chwili $t+1$ zależy od stanu wszystkich sześciu sąsiadów w chwili t i można być wyrażony wzorem [3]:

$$S_0^{t+1} = F(S_0^t, S_1^t(a), S_2^t(b), S_3^t(c), S_4^t(d), S_5^t(e), S_6^t(f)) \quad (3)$$

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

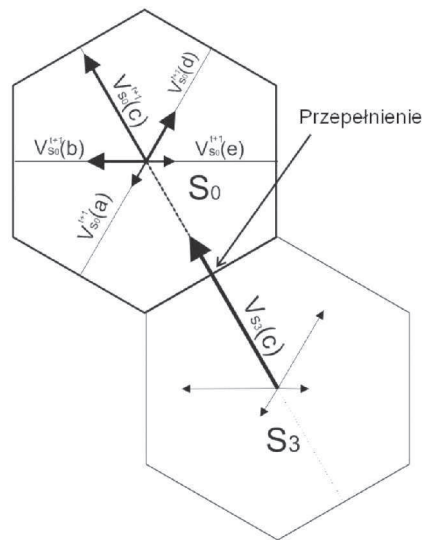


Rys. 5. Siatka sześciokątna

Źródło: opracowanie własne.

Heksagony do modelowania pożarów lasów zostały zastosowane z powodzeniem w modelu rozprzestrzeniania się ognia Rothemela [6]. Jednak w badaniach zakładano, że propagacja ognia na wszystkich sąsiadów następuje po zapaleniu danego heksagonu bez względu na kierunek wektora prędkości rozprzestrzeniania się ognia. W przyjętym synchronicznym modelu, zakłada się, że każdy automat posiada poza danymi o materiale palnym, sześć zmiennych do przechowywania wartości typu rzeczywistego. Używając analogii, można założyć, że jest to sześć zbiorników, z których każdy przylega do jednego boku. Jeśli któryś bok zostanie zalany przez sąsiada, wówczas następuje napełnianie pozostałych pięciu zbiorników z różną prędkością zależną od kierunku wektora

prędkości. Dany bok zaczyna oddziaływać na sąsiada dopiero wtedy, gdy jego zbiornik zostanie całkowicie zapełniony. Na rys. 6 przedstawiono ideę działania funkcji przejścia heksagonu.



Rys. 6. Idea działania funkcji przejścia heksagonu

Źródło: opracowanie własne.

Obliczenia wartości rzeczywistych dokonywane są w dyskretnym czasie z interwałem Δt . Jeśli w czasie Δt zbiornik zostanie przepełniony, wówczas w kolejnej iteracji zgromadzony nadmiar zostanie przekazany do sąsiada. Po przekazaniu nadmiaru, w komórce zapamiętywany jest całkowity czas dojścia pożaru do krawędzi komórki.

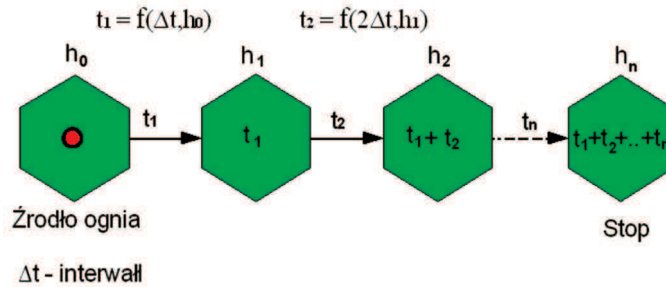
2.3. Wyznaczanie minimalnego czasu dojścia frontu pożaru

Na podstawie zapamiętanych danych w poszczególnych klastrach można wyznaczyć najkrótszą ścieżkę w dziedzinie czasu łączącą dwa wybrane klastry umieszczone na siatce (rys. 7). Do wyznaczenia najszybszej drogi dojścia pożaru użyto prostego algorytmu Dijkstry, gdzie wierzchołkami grafu są klastry, a krawędziami – czasy propagacji pomiędzy poszczególnymi bokami klastrów.

Ponieważ zadaniem algorytmu jest obliczenie minimalnego czasu dojścia pożaru, a nie najkrótszej drogi, to falisty charakter ścieżki dla przejść pomiędzy heksagonami nie wpływa na wyniki obliczeń (rys. 8).

Parametry elipsy a_e , b_e , c_e (rys. 2) rozprzestrzeniania się pożaru lasu zostały wyznaczone empirycznie w odniesieniu do warunków panujących w polskiej strefie geograficznej. Dane zostały opracowane dla pożarów typu ściółkowego.

W przyjętym modelu mogą występować różnice na poziomie różnych klastrów, natomiast warunki, jak i paliwo znajdujące się w pojedynczym klastrze mają charakter jednorodny.

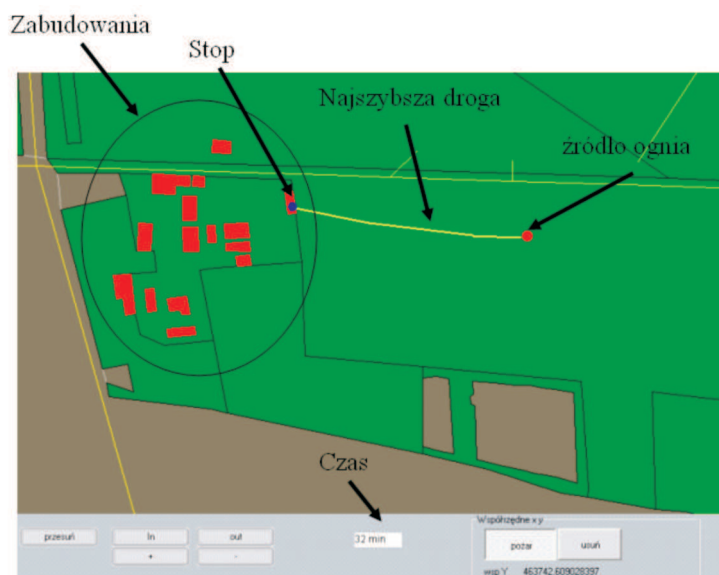


Rys. 7. Minimalny czas przejścia równy sumie czasów cząstkowych przejść pomiędzy poszczególnymi klastrami
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 8. Porównanie najkrótszej i najszybszej drogi pożaru w zróżnicowanym środowisku rozprzestrzeniania ognia
Źródło: opracowanie własne.

Skalowanie siatki klastrów stanowi istotny krok poprzedzający pobieranie danych z cyfrowych map lasów i prognozy pogody. Podczas skalowania rozmiar klastra powinien być tak dobrany, aby w jednym kroku symulacyjnym nie nastąpiło przepełnienie dla nowo zapalanej komórki. Zbyt małe klastry zwiększają złożoność obliczeniową. Wpływa to niekorzystnie na czas wykonania symulacji.



Rys. 9. Graficzne wyświetlenie najszybszej drogi pożaru

Zródło: opracowanie własne.

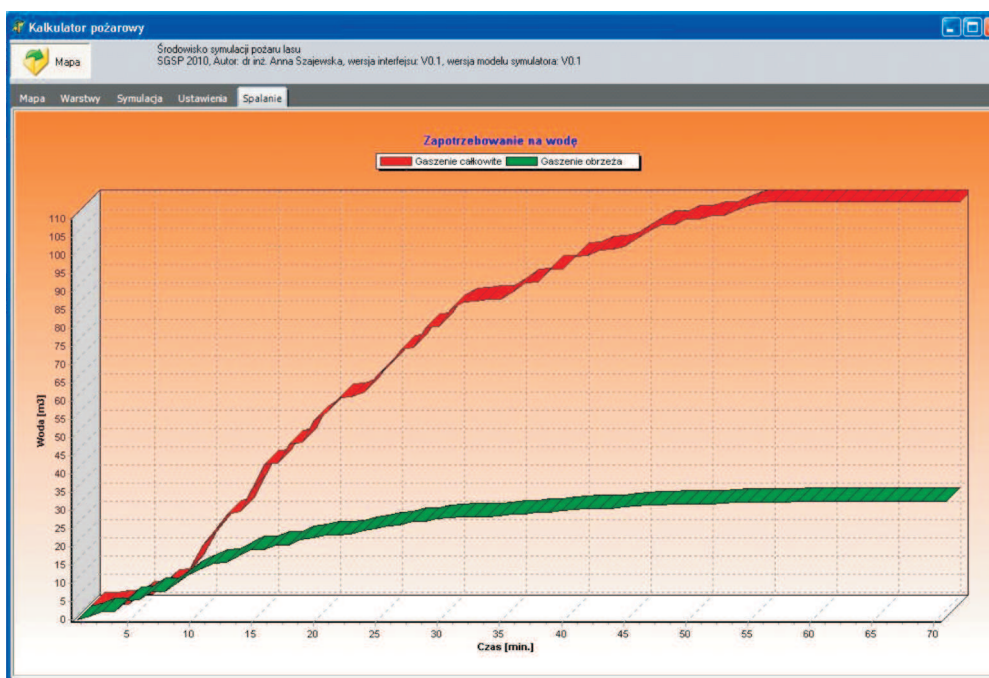
2.4. Prognoza pogody

Program posiada możliwość uruchamiania w warunkach terenowych. Problemem było przesyłanie krótkoterminowej prognozy pogody w miejscach bez dostępu do internetu i zasięgu telefonii cyfrowej. Niedogodność ta została rozwiązana przez zastosowanie modemu satelitarnego Orbcomm. Rozwiązanie jest korzystne z uwagi na wykluczenie środków łączności wątpliwych w przypadku klęsk żywiołowych w dowolne miejsce globu niezależnie od stanu sieci GSM i innych mediów przewodowych. Zastosowanie dookólnej 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).

2.5. Szacowanie zapotrzebowania na wodę

W celu wyznaczenia zapotrzebowania na wodę niezbędną do ugaszenia należało policzyć całkowitą liczbę zapalonych komórek – dla gaszenia całkowitego, oraz liczbę zapalonych komórek na obwodzie pożaru dla zadanej szerokości gaszenia obrzeża.

Znając aktualną lokalizację pożaru, czas trwania, czas na dojazd jednostek gaśniczych, możliwe jest oszacowanie zapotrzebowania na wodę w sytuacji zastanej przez strażaków docierających na miejsce pożaru (rys. 10). Stosowanie symulacji komputerowej może w prosty sposób ułatwić planowanie akcji gaśniczych.



Rys. 10. Prezentacja graficzna zapotrzebowania na wodę do gaszenia całkowitego i gaszenia obrzeża

Źródło: opracowanie własne.

3. Podsumowanie

Przedstawiony model automatu komórkowego został zastosowany 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.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Lopes A.M.G., Cruz M.G., Viegas D.X. : Fire Station – an integrated software system for the numerical simulation of fire spread on complex topography. *Environmental Modelling and Software*, 2002, nr 17, s. 269–285.
- [2] McAlpine R.S.: Temporal variations in elliptical forest fire shapes. *Canadian Journal of Research*, 1989, nr 19, s. 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, nr 29, str. 139–153.
- [4] Richards G.D.: The properties of elliptical fire growth for time dependent fuel and meteorological conditions. *Combustion Science Technology*, 1993, nr 92, s. 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 Landscapes Using An Improved Cellular automaton Model. 0-7803-8742-2/04/\$20.00(C) 2004 IEEE

S U M M A R Y

dr inż. Anna SZAJEWSKA

ADAPTING CELLULAR MODEL IN COMPUTER SIMULATION PROGRAM OF FOREST FIRE SPREADING

The paper presents theoretical and practical development and simulation method for small and medium-sized forest fires for the Polish geographical and climatic conditions. It presents the assumptions for the cellular model simulation of forest fire with data derived from digital maps of forest and short-term weather forecasts. Practical realization of the assumptions and the mathematical model are presented in the form of software, combining the input data and processing to form the forecast spread of fire. The simulation of water consumption for extinguishing the fire completely or only its rim for the early assessment of threats, planning for extinguishing the fire has been made.