

**Tadeusz MACIAK, Rafał MARZEWSKI**

Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki,  
ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok  
E-mail: t.maciak@pb.edu.pl

## **Komputerowa symulacja rozwoju pożaru kompleksu leśnego w pobliżu Nowogrodu Cz. I. Dobór danych wejściowych**

### 1 Wprowadzenie

Pożary są zaliczane do najpoważniejszych niebezpieczeństw zagrażających lasom. Przewidywanie zachowania się środowiska pożarowego jest ważnym elementem skuteczności planowania ochrony przeciwpożarowej. Metody modelowania pożarów drzew można podzielić na dwa rodzaje: empiryczne oraz fizycznie. Empiryczne wzorce zachowania są utworzone na podstawie uzasadnionej liczby obserwacji i przewidywania szybkości rozprzestrzeniania się ognia [1, 2]. Używane tu równania wyprowadzane są na drodze badań doświadczalnych określonego środowiska. Parametrami w wyprowadzonych równaniach są przykładowo prędkość wiatru, właściwości spalanych paliw czy topografia terenu. Modelowanie empiryczne jest dobrze opracowane w takich krajach, jak Australia, Kanada i Stany Zjednoczone. Niedawno opracowano podobne modele w Hiszpanii oraz Portugalii. Jednak dopiero w ciągu ostatniej dekady opracowano narzędzia umożliwiające pełną fizyczną reprezentację pożarów lasów. Tzw. pełne modele fizyczne pozwalają na trójwymiarowe (3D) symulacje pożarów, rozłożone w skali mniejszej niż 20 ha, ale zazwyczaj tylko na superkomputerach. Dwuwymiarowa (2D) symulacja została opracowana do zapewnienia zaawansowanych narzędzi, które można wykorzystać do przewidywania zachowania się ognia w warunkach rzeczywistych. Obecnie symulatory oparte są na danych terenowych GIS (*Geographic Information Systems*), które mogą automatycznie obliczyć wzrost mocy ognia w różnorodnych warunkach terenowych.

Wiedza z zakresu rzeczywistego zachowania się ognia i momentu zapłonu koron drzew została pogłębiona poprzez intensywnie monitorowane sztucznie wywołanych i kontrolowanych pożarów lasów [3] oraz ich fizyczne modelowanie [4,5,6]. Niemniej pożar koron drzew jest postrzegany w literaturze światowej jako bardzo złożone zjawisko. Pożary koron drzew są odpowiedzialne za największą część całkowitej powierzchni spalonych lasów na całym świecie [7,8,9]. Często rozprzestrzeniają się kilka razy szybciej niż pożary powierzchniowe oraz spalają się z większą intensywnością. Spalanie paliw koron drzew powoduje większe ryzyko tzw. spottingu na długich dystansach, czyli przenoszenia z wiatrem palących się fragmentów roślinności. Przyczyną tego jest powstawanie nowych pożarów w innych miejscach, odległych nawet o 1-3 kilometry od głównego źródła [10].

W poprzednio opublikowanych pracach przedstawiono modele pożaru lasu oraz zaprezentowano wybrane oprogramowania służące do modelowania rozwoju

pożarów kompleksów leśnych [11,12]. Zaprezentowano również problemy tworzenia modeli paliwowych [13]. Czwarta z serii praca miała na celu uzupełnienie wiedzy z zakresu modelowania pożaru koron drzew oraz przedstawienie modelu roznoszenia płonących fragmentów roślinności przez wiatr [14]. Zaprezentowane symulacje pożaru lasu zostały wykonane w wykorzystywanym przez Urząd Leśny Ministerstwa Rolnictwa USA bezpłatnym oprogramowaniu FARSITE [15]. Przykładowe symulacje dotyczyły rozprzestrzeniania się pożaru roślinności w wybranym kompleksie leśnym w pobliżu Nowogrodu.

Jak już wspomniano, wiedza dotycząca dokładnie procesu fizycznego rozwoju koron drzew jest ograniczona [16], a otrzymywane wyniki symulacji są krytycznie oceniane [17]. Ze względu na pojawiające się w literaturze światowej uwagi dotyczące wartości rzeczywistej wykorzystywanych modeli autorzy opracowania postanowili zaprezentować proces symulacji pożaru dla nieco innych niż w pracy [12] charakterystycznych warunków pogodowych występujących w Polsce dla początku miesiąca lipca.

Celem przedstawionej pracy jest podanie do oceny przez osoby zainteresowane tematyką pożarów lasów, czy oprogramowanie FARSITE (przygotowane dla kompleksów leśnych w USA, gdzie dominującym gatunkiem jest sosna żółta – *Pinus Ponderosa*) może dawać realne wyniki w warunkach naszej strefy klimatycznej [18]. W Polsce w borach sosnowych dominującym gatunkiem jest sosna zwyczajna (*Pinus Sylvestris*).

Ze względu na obszerność materiału praca została podzielona na dwie części: pierwsza obejmuje dobór danych wejściowych, natomiast druga przedstawia wyniki procesu symulacji.

## 2 Założenia procesu symulacja pożaru kompleksu leśnego

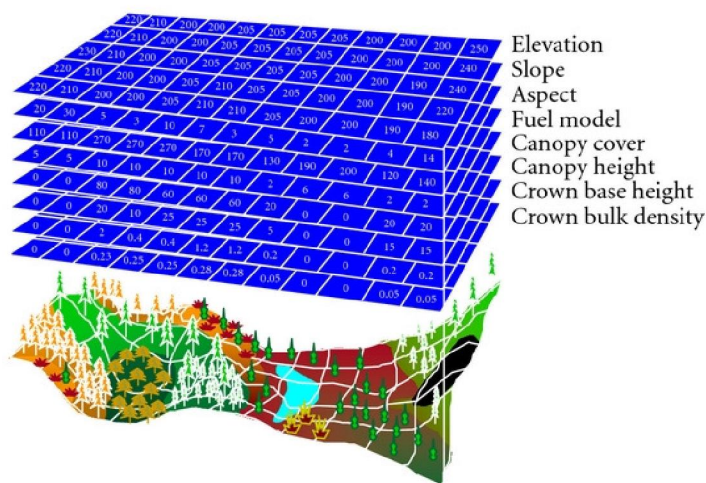
### Oprogramowanie FARSITE

FARSITE (*Fire Area Simulator*) jest to oprogramowanie symulujące zachowanie oraz wzrost ognia dostępny do użytku na komputerach z systemem Windows, używany przez analityków zajmujących się badaniem zachowania się ognia z *U.S. National Park Service*, *USDI Bureau of Indian Affairs (BIA)* oraz *USDI Bureau of Land Management (BLM)*. System wykorzystuje dane przestrzenne związane z topografią terenu i paliw, a także informacje o pogodzie i wietrze. FARSITE zawiera predefiniowane modele do przewidywania zachowania się ognia: pożarów powierzchniowych, koron drzew, spottingu oraz produkcji dwuwymiarowych modeli wzrostu pożaru. Oprogramowanie FARSITE korzysta z następujących typów danych:

- plik krajobrazu – ang. *Landscape* (\*.LCP),
- wstępna wilgoć paliwa – ang. *Initial Fuel Moistures* (\*.FMS),
- niestandardowy model paliwa – ang. *Custom Fuel Model* (\*.FMD),
- plik konwersji – ang. *Conversion* (\*.CNV),
- zapytań pogody – ang. *Weather* (\*.WTR),
- wiatru – ang. *Wind* (\*.WND).

Aby uruchomić symulację, potrzebnych jest pięć podstawowych warstw danych rastrowych w formacie GRASS ASCII lub ASCII GRID przedstawionych na rysunku 1:

wysokości (*elevation*), nachylenia (*slope*), ekspozycji (*aspect*), paliwa (*fuel model*), pokrycia koronami drzew (*canopy cover*). Dodatkowo na rysunku 1 pokazano trzy warstwy: wysokość drzew (*canopy height*), wysokości podstawy koron od ziemi (*crown base height*) oraz gęstość koron drzew (*crown bulk density*). Trzy dodatkowo wymienione warstwy są wymagane do przeprowadzenia symulacji dotyczącej pożaru koron drzew. Wszystkie zaprezentowane warstwy łączone są w jeden plik z rozszerzeniem \*.LCP, tworząc tym samym plik krajobrazu. Całą zawartość pliku krajobrazu, wraz z rodzajem potrzebnych map oraz jednostkami, zawiera tabela 1.



*Rys. 1. Paliwa i dane topograficzne siatki używane do symulacji pożarów przez oprogramowanie FARSITE [19]*

*Fig. 1. Fuel and topographic data grid used to simulate fires by FARSITE software [19]*

*Tab. 1. Zawartość pliku Landscape \*.LCP wg [15]*

*Tab.1. Landscape \*.LCP file contents by [15]*

| Nazwa ( <i>name</i> )     | Jednostka ( <i>unit</i> )                 | Opis ( <i>description</i> )          |
|---------------------------|---|--------------------------------------|
| <i>elevation</i>          | metr (m) lub stopa ( <i>feet</i> )        | plik wejściowy ( <i>input file</i> ) |
| <i>slope</i>              | stopnie ( <i>deg</i> )                    | plik wejściowy                       |
| <i>aspect</i>             | kategoria 1-25 lub stopnie ( <i>deg</i> ) | plik wejściowy                       |
| <i>fuel model</i>         | modele paliw powierzchniowych             | plik wejściowy                       |
| <i>canopy cover</i>       | kategoria 1-4 lub procent (%)             | plik wejściowy                       |
| <i>tree height</i>        | metr (m) lub stopa ( <i>feet</i> )        | plik wejściowy                       |
| <i>crown base height</i>  | metr (m) lub stopa ( <i>feet</i> )        | plik wejściowy                       |
| <i>crown bulk density</i> | kg/m <sup>3</sup>                         | plik wejściowy                       |
| <i>duff loading</i>       | Mg/ha lub tons/acre                       | plik wejściowy                       |
| <i>coarse woody</i>       | modele grubości drzew                     | plik wejściowy                       |

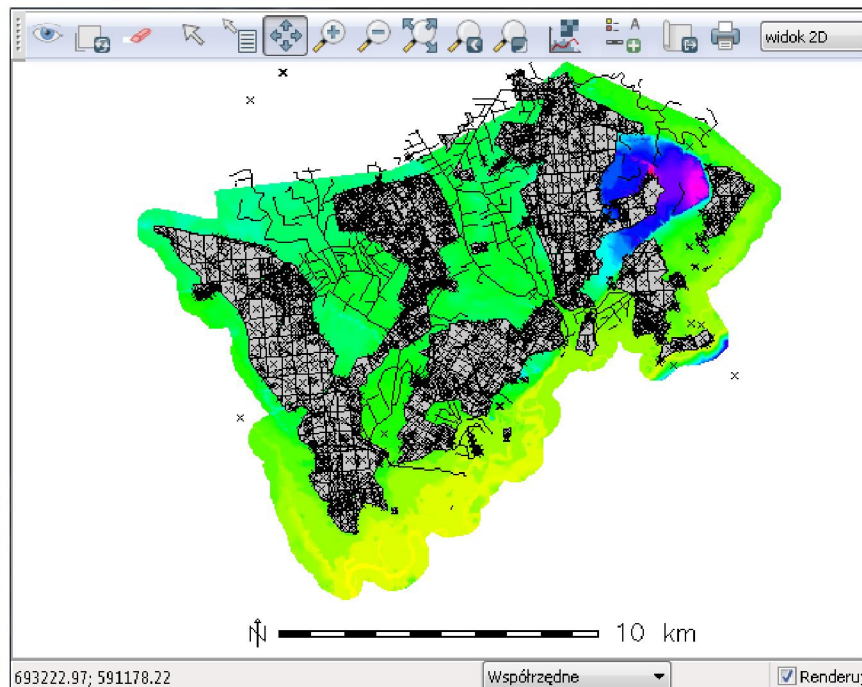
### Pozyskiwanie danych wejściowych

Do badań wybrano kompleks leśny znajdujący się w Nadleśnictwie Nowogród. Udostępniony przez Regionalną Dyрекcję Lasów Państwowych (RDLP) w Białymstoku numeryczny model terenu *nmt\_wynik.tif* zawierał następujące warstwy wektorowe zapisane w formacie \*.shp:

- wydz\_pol.shp – podziału terenu na oddziały leśne,
- ciek\_lin.shp – ciekі wodne,
- kom\_lin.shp – linie komunikacyjne.

Korzystając z oprogramowania GRASS GIS [20], możliwe było wczytanie warstw do systemu oraz ich obróbka.

Na rysunku 2 widać nałożonych na siebie kilka warstw danych w systemie GRASS GIS 6.5. Znajdują się tu: mapa wysokości terenu (numeryczny model terenu), warstwa oddziałów leśnych wydzielonych za pomocą prostokątów, warstwa linii komunikacyjnych i cieków wodnych zaznaczonych prostymi liniami oraz warstwa ppoz\_shp (obiekty ochrony przeciwpożarowej) oznaczone jako „x”.

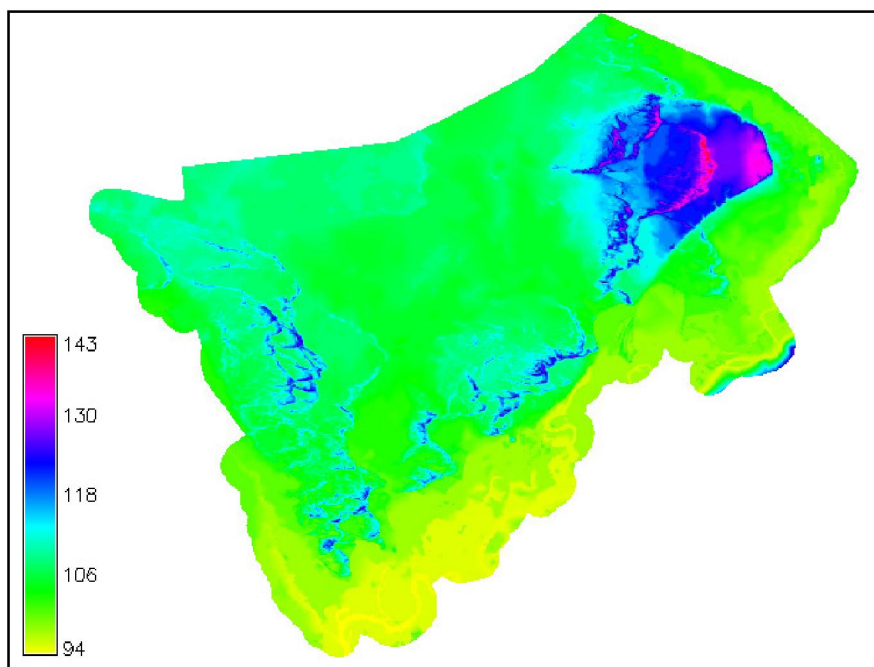


Rys. 2. Analizowany kompleks Nadleśnictwa Nowogród; opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych z RDLP w Białymstoku

Fig. 2. Analyzed complex Forestry Novgorod; own study based on data RDLP in Białystok

### Mapa wysokości

Mapa numeryczna terenu określa parametry wysokości, tym samym po konwersji mapy na format ESRI ASCII GRID można jej użyć w systemie FARSITE jako warstwę wysokości (*elevation*). Mapę wysokości terenu wraz z legendą po lewej stronie przedstawia rysunek 3.



*Rys. 3. Mapa wysokości; opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych z RDLP w Białymstoku*

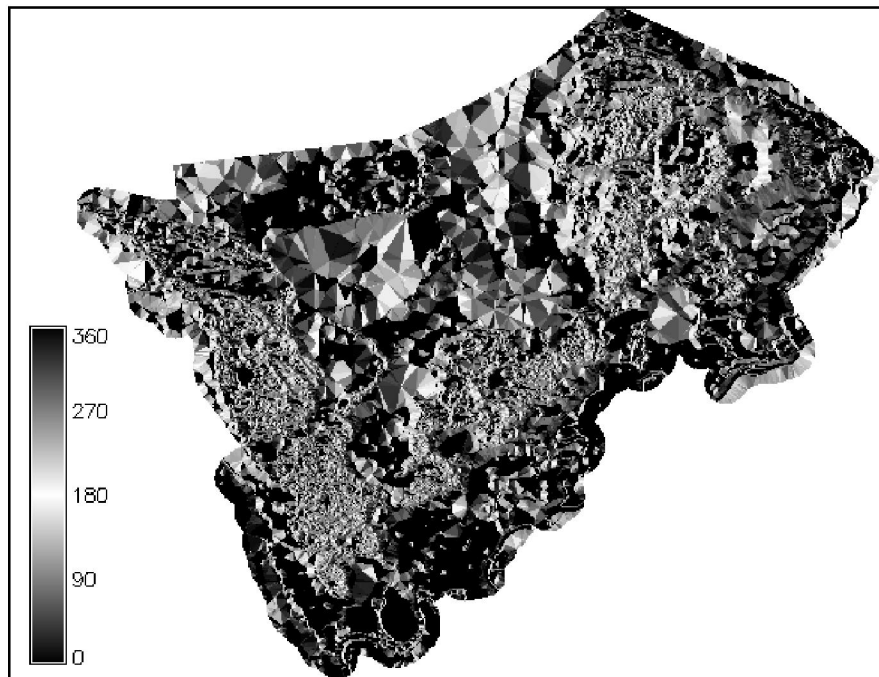
*Fig. 3. Map of elevation; own study based on data RDLP in Białystok*

#### Mapa nachyleń i ekspozycji

Oprogramowanie GRASS GIS umożliwia analizę terenu, dzięki czemu z numerycznej mapy terenu można wygenerować mapę rastrową nachyleń, ekspozycji, krzywizn pierwszego i drugiego rzędu i pochodne cząstkowe z mapy rastrowej wysokości. Dodatkowo można określić format stoku (w stopniach lub w procentach) oraz mnożnikowy współczynnik konwersji (1.0). Wyjście mapy rastrowej *slope* zawiera określone w stopniach nachylenia w poziomie zboczy, jeśli wybrana opcja format = stopnie (domyślnie), natomiast procentowy wzrost w przypadku, jeśli opcja format = procent.

Mapa ekspozycji pokazuje ekspozycję (orientację) stoków względem stron świata. Pokazuje jednocześnie kierunek i stopień nachylenia dla terenu (lub innej stałej powierzchni). Rysunek 4 przedstawia wygenerowaną mapę ekspozycji w kolorach czarno – szaro – białych. Kategorie ekspozycji określa liczba stanowiąca stopnie numeryczne od wschodu i zwiększając się w lewo: 90 deg = północ, 180 = zachód, 270

= południe, 360 = wschód. Wartość 0 jest używana do wskazywania niezdefiniowanej ekspozycji na płaskich obszarach o nachyleniu = 0.



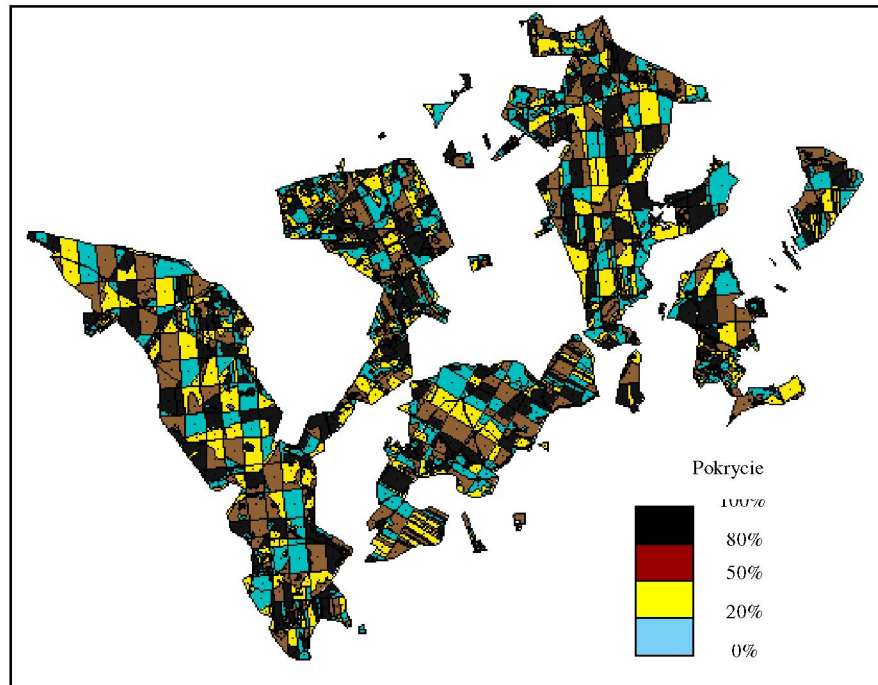
Rys.4. Mapa ekspozycji (aspect); opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych z RDLP w Białymstoku

Fig. 4. Map of aspect; own study based on data RDLP in Białystok

Mając rastrowe mapy nachyleń oraz ekspozycji, można eksportować je do formatu ESRI ASCII GRID obsługiwanym przez system FARSITE.

#### Mapa pokrycia terenu koronami drzew

Kolejną z map, jaką należy przygotować, jest pokrycie terenu koronami drzew (*canopy cover*). Mapę tę sporządzono metodami pośrednimi opisanymi w publikacji [12], dzieląc obszary pokrycia na posiadające zwarcie luźne (0-20%), przerywane (20-50%), umiarkowane (50-80%) oraz pełne (80-100%). Mapa pokrycia terenu koronami drzew została przedstawiona na rysunku 5.



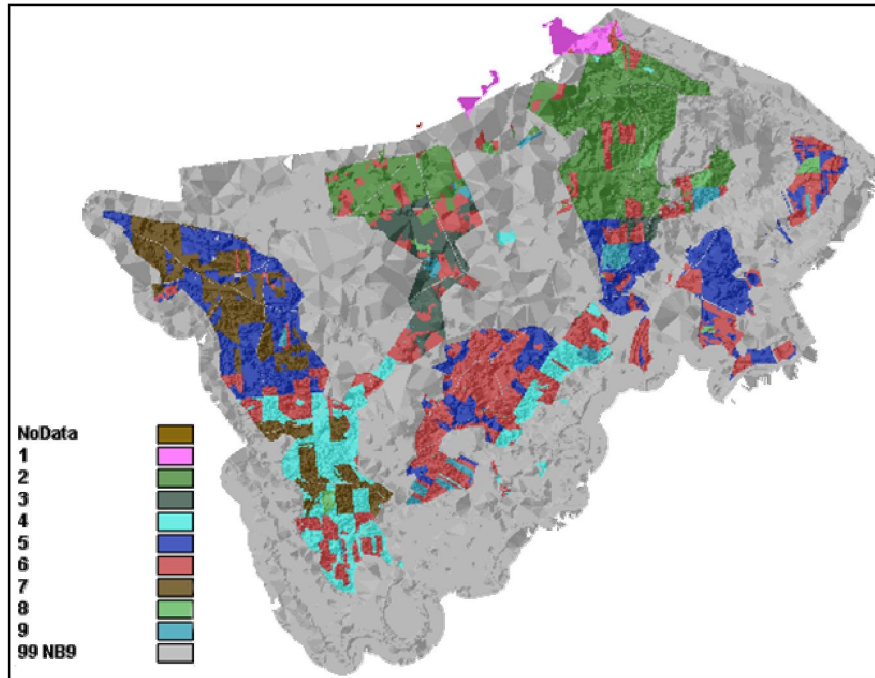
Rys. 5. Mapa pokrycia terenu koronami drzew (canopy cover); opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych z RDLP w Białymstoku

Fig. 5. Map of canopy cover; own study based on data RDLP in Białystok

#### Mapa paliw powierzchniowych

Mapa paliw powierzchniowych opisuje przede wszystkim występujące materiały palne na powierzchni ziemi. Do opisu paliw posłużyły modele opisane przez Scotta i Burgana w pracy [21].

Na cele symulacji wybrano 10 modeli najbliższych tym paliwom, jakie mogą występować na terenie wybranego kompleksu leśnego: GR2, GR4, GS2, GS4, SH3, SH7, SH9, TU5, TL1, TL9 [21]. Opracowana mapa z podziałem na paliwa powierzchni została przedstawiona na rysunku 6.



Rys. 6. Mapa przedstawiająca modele paliw; opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych z RDLP w Białymstoku

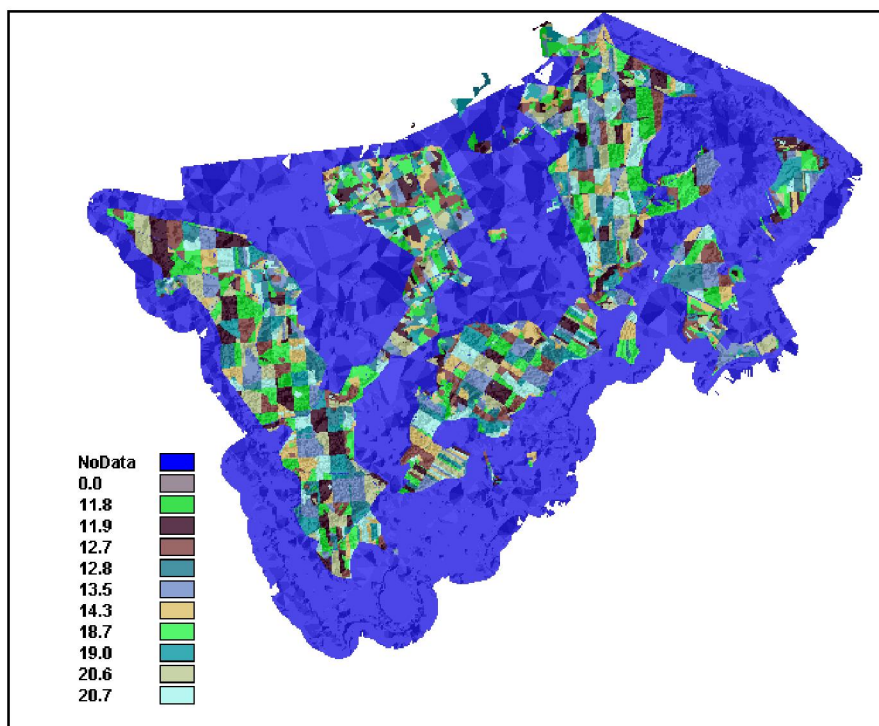
Fig. 6. Map of fuel models; own study based on data RDLP in Białystok

#### Mapa wysokości drzew

Pierwszą z map, jaka jest potrzebna do przeprowadzenia symulacji pożaru koron drzew, jest mapa wysokości drzew (*stand height*). Z powodu braku danych opisujących wysokość drzew na objętym terenie Nadleśnictwa Nowogród wymiary drzew przyjęto z publikacji [22]. Pomiary zaprezentowane w [22] dotyczyły sosny zwyczajnej (*Pinus Sylvestris*).

Korzystając z szacowanych danych, wygenerowano mapę wysokości drzew dla rozważanego kompleksu leśnego (rys. 7).



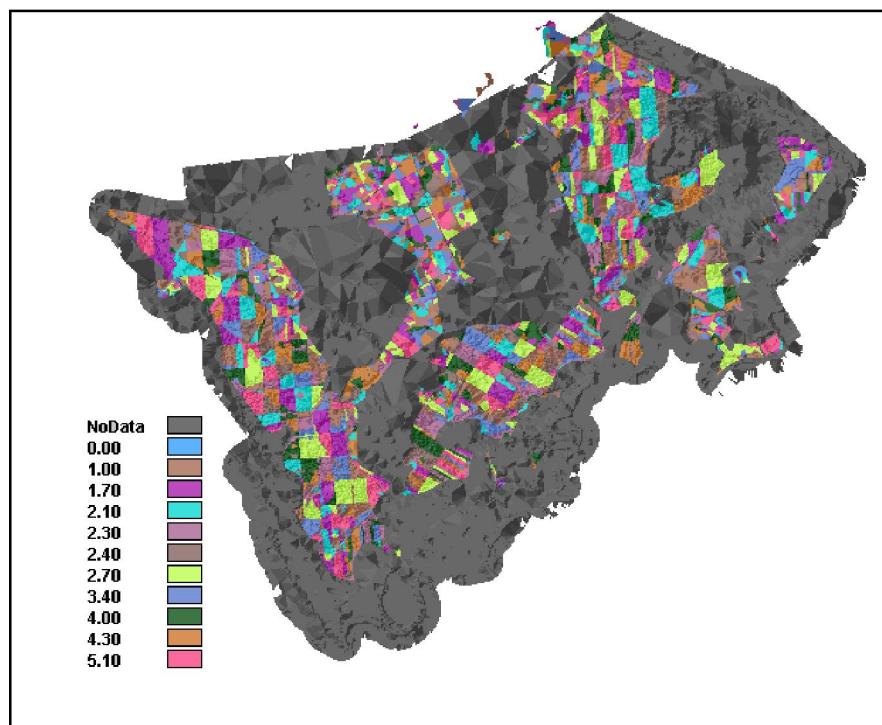


Rys. 7. Mapa przedstawiająca wysokość drzew; opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych z RDLP w Białymstoku

Fig. 7. Map of stand height; own study based on data RDLP in Białystok

#### Mapa wysokości podstawy korony

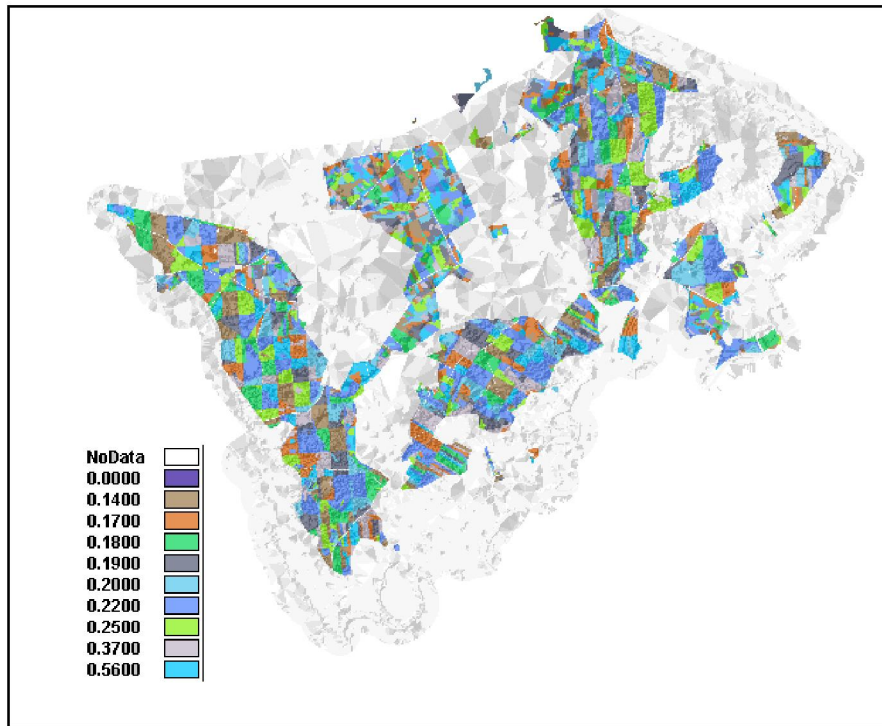
Na podstawie danych znajdujących się w pracy [22] wygenerowano mapę wysokości podstawy koron CBH (*Crown Base Density*) przedstawioną na rysunku 8.



Rys. 8. Mapa przedstawiająca wysokość podstawy korony CBH (Canopy Base Height);  
opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych z RDLP w Białymstoku  
Fig. 8. Map of canopy base height; own study based on data RDLP in Białystok

#### Gęstość koron drzew

Ostatnią potrzebną mapą do symulacji pożaru koron drzew jest warstwa określająca gęstość koron drzew CBD (Crown Bulk Density). Na podstawie danych zawartych w pracy [21] wygenerowano mapę z podziałem dotyczącym gęstości koron drzew, która jest przedstawiona na rysunku 9.



Rys. 9. Mapa przedstawiająca gęstość koron drzew CBD (Canopy Bulk Density);  
opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych z RDLP w Białymstoku

Fig. 9. Map of canopy bulk density; own study based on data RDLP in Białystok

#### Opis pogody i wiatru

Od warunków pogodowych zależy głównie istota pożaru. W systemie FARSITE parametry pogody reprezentowane są przez plik tekstowy w formacie ASCII. Może być on tworzony przy użyciu zwykłego notatnika, czy też bezpośrednio za pomocą edytora zawartego w oprogramowaniu.

Bazując na obserwacjach pogody oraz rozmowach z pracownikami Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Białymstoku, do przeprowadzenia symulacji pożaru lasu przyjęto początek lipca. Jest on jednym z najcieplejszych miesięcy w roku, w którym średnia temperatura wynosi 16 – 19 °C.

W tabeli 2 odnotowano przyjęte parametry pogody.

Tab. 2. Tablica parametrów pogody (plik weather.wtr)

Tab. 2. Table of weather parameters (file weather.wtr)

| MO | DY | RN | AM   | PM   | TLo | THi | HLo | HHi | ELV |
|----|----|----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 07 | 01 | 0  | 1100 | 1400 | 18  | 36  | 49  | 11  | 132 |
| 07 | 02 | 0  | 100  | 1400 | 18  | 28  | 52  | 11  | 132 |
| 07 | 03 | 0  | 1100 | 1100 | 19  | 32  | 59  | 11  | 132 |
| 07 | 04 | 0  | 700  | 1100 | 18  | 29  | 17  | 11  | 132 |
| 07 | 04 | 0  | 700  | 1300 | 16  | 31  | 17  | 11  | 132 |
| 07 | 05 | 0  | 700  | 1400 | 18  | 35  | 13  | 12  | 132 |
| 07 | 06 | 0  | 900  | 1200 | 18  | 33  | 18  | 12  | 132 |
| 07 | 07 | 0  | 800  | 1300 | 19  | 33  | 20  | 12  | 132 |
| 07 | 08 | 0  | 1000 | 1200 | 18  | 30  | 20  | 12  | 132 |

W tabeli 2 występują następujące kolumny:

- MO – miesiąc,
- DY – dzień,
- RN – dzienna liczba opadów wyrażona w setnych milimetrów lub cali (integer),
- AM – godzina z najmniejszą odnotowaną temperaturą danego dnia (0-2359),
- PM – godzina z największą odnotowaną temperaturą danego dnia (0-2359),
- TLo – temperatura minimalna danego dnia w stopniach Celsjusza lub Fahrenheita (integer),
- THi – temperatura maksymalna danego dnia w stopniach Celsjusza lub Fahrenheita (integer),
- HHi – wilgotność maksymalna wyrażona procentach,
- HHo – wilgotność minimalna wyrażona procentach,
- ELV – wysokość n.p.m. wyrażona w stopach lub metrach (integer).

Kolejnym plikiem do wczytania jest opis wiatru (\*.wnd). Tak jak i w przypadku pogody, parametry wiatru zapisane są w pliku tekstowy ASCII. Wiatry są zazwyczaj zmienne w czasie i przestrzeni. Jednak FARSITE zakłada, że wiatry dają stały strumień w przestrzeni, ale zmienny w czasie. Tak jak w przypadku pogody, FARSITE pozwala opisać dane wiatru w jednostkach angielskich lub metrycznych.

Plik wiatru zawiera następujące parametry:

- MO – miesiąc,
- DY – dzień,
- HR – godzina (0 – 2359),
- SPD – prędkość wiatru mierzona 20 stóp nad koronami drzew, wyrażona w m/s lub mierzona 10 m ponad koronami drzew i wyrażona w km/h,
- DIR – kierunek wiatru wyznaczany w stopniach zgodnie ze wskazówkami zegara, począwszy od kierunku północnego,
- CL – pokrycie nieba chmurami wyrażone w procentach.

W tabeli 3 znajduje się opis parametrów wiatrów, poczynając od 1 do 6 lipca włącznie. Na terenie Polski w miesiącach letnich, czyli od lipca do września, przeważają głównie wiatry nadciągające z kierunku zachodniego. W tabeli 3 przyjęto wartości od 220

*Komputerowa symulacja rozwoju pożaru kompleksu leśnego  
w pobliżu Nowogrodu. Cz. I. Dobór danych wejściowych*

do 280, oznaczające wiatry południowo – zachodnie, zachodnie oraz północno – zachodnie. Zazwyczaj wieją wiatry słabe i umiarkowane z prędkością od 2 do 12 m/s. Na cele symulacji przyjęto niemal w każdym dniu zerowe zachmurzenie nieba (w tabeli 3 oznaczone kolumną szóstą – CL).

*Tab. 3. Tablica parametrów wiatru (plik wind.wnd).*

*Tab. 3. Table wind parameters (file wind.wnd)*

| M | D | HR  | SP | DI  | C  | M | D | HR  | SP | DI  | C  | M | D | HR  | SP | DI  | C |
|---|---|-----|----|-----|----|---|---|-----|----|-----|----|---|---|-----|----|-----|---|
| O | Y |     | D  | R   | L  | O | Y |     | D  | R   | L  | O | Y |     | D  | R   | L |
| 7 | 1 | 0   | 10 | 264 | 0  | 7 | 3 | 0   | 2  | 268 | 0  | 7 | 5 | 0   | 8  | 257 | 0 |
| 7 | 1 | 100 | 9  | 250 | 10 | 7 | 3 | 100 | 2  | 265 | 0  | 7 | 5 | 100 | 5  | 259 | 0 |
| 7 | 1 | 200 | 11 | 242 | 10 | 7 | 3 | 200 | 3  | 261 | 0  | 7 | 5 | 200 | 4  | 254 | 0 |
| 7 | 1 | 300 | 12 | 244 | 10 | 7 | 3 | 300 | 4  | 258 | 0  | 7 | 5 | 300 | 6  | 265 | 0 |
| 7 | 1 | 400 | 12 | 243 | 0  | 7 | 3 | 400 | 5  | 259 | 0  | 7 | 5 | 400 | 1  | 241 | 0 |
| 7 | 1 | 500 | 10 | 256 | 4  | 7 | 3 | 500 | 7  | 257 | 0  | 7 | 5 | 500 | 2  | 253 | 0 |
| 7 | 1 | 600 | 8  | 254 | 0  | 7 | 3 | 600 | 7  | 213 | 0  | 7 | 5 | 600 | 2  | 245 | 0 |
| 7 | 1 | 700 | 7  | 267 | 0  | 7 | 3 | 700 | 6  | 235 | 0  | 7 | 5 | 700 | 2  | 221 | 0 |
| 7 | 1 | 800 | 6  | 255 | 5  | 7 | 3 | 800 | 7  | 261 | 0  | 7 | 5 | 800 | 3  | 223 | 0 |
| 7 | 1 | 900 | 6  | 274 | 0  | 7 | 3 | 900 | 6  | 231 | 12 | 7 | 5 | 900 | 2  | 255 | 0 |
| 7 | 1 | 100 | 6  | 242 | 0  | 7 | 3 | 100 | 8  | 236 | 5  | 7 | 5 | 100 | 3  | 256 | 0 |
| 7 | 1 | 110 | 4  | 244 | 0  | 7 | 3 | 110 | 9  | 238 | 3  | 7 | 5 | 110 | 2  | 245 | 0 |
| 7 | 1 | 120 | 5  | 243 | 0  | 7 | 3 | 120 | 10 | 235 | 4  | 7 | 5 | 120 | 2  | 258 | 0 |
| 7 | 1 | 130 | 5  | 256 | 0  | 7 | 3 | 130 | 7  | 234 | 5  | 7 | 5 | 130 | 3  | 259 | 0 |
| 7 | 1 | 140 | 4  | 243 | 3  | 7 | 3 | 140 | 6  | 215 | 3  | 7 | 5 | 140 | 4  | 256 | 0 |
| 7 | 1 | 150 | 3  | 236 | 0  | 7 | 3 | 150 | 5  | 215 | 4  | 7 | 5 | 150 | 3  | 254 | 0 |
| 7 | 1 | 160 | 2  | 234 | 0  | 7 | 3 | 160 | 7  | 219 | 5  | 7 | 5 | 160 | 5  | 258 | 0 |
| 7 | 1 | 170 | 2  | 231 | 0  | 7 | 3 | 170 | 5  | 225 | 3  | 7 | 5 | 170 | 2  | 257 | 0 |
| 7 | 1 | 180 | 3  | 236 | 0  | 7 | 3 | 180 | 4  | 228 | 4  | 7 | 5 | 180 | 4  | 258 | 0 |
| 7 | 1 | 190 | 4  | 239 | 0  | 7 | 3 | 190 | 4  | 224 | 5  | 7 | 5 | 190 | 4  | 269 | 0 |
| 7 | 1 | 200 | 2  | 238 | 0  | 7 | 3 | 200 | 6  | 226 | 3  | 7 | 5 | 200 | 4  | 257 | 0 |
| 7 | 1 | 210 | 2  | 234 | 0  | 7 | 3 | 210 | 10 | 221 | 4  | 7 | 5 | 210 | 4  | 259 | 0 |
| 7 | 1 | 220 | 1  | 236 | 0  | 7 | 3 | 220 | 12 | 223 | 5  | 7 | 5 | 220 | 2  | 254 | 0 |
| 7 | 1 | 230 | 3  | 235 | 0  | 7 | 3 | 230 | 13 | 255 | 3  | 7 | 5 | 230 | 2  | 265 | 0 |
| 7 | 2 | 0   | 4  | 231 | 0  | 7 | 4 | 0   | 15 | 256 | 0  | 7 | 6 | 0   | 3  | 256 | 0 |
| 7 | 2 | 100 | 5  | 232 | 0  | 7 | 4 | 100 | 12 | 245 | 0  | 7 | 6 | 100 | 3  | 245 | 0 |
| 7 | 2 | 200 | 4  | 232 | 0  | 7 | 4 | 200 | 14 | 258 | 0  | 7 | 6 | 200 | 3  | 258 | 0 |
| 7 | 2 | 300 | 3  | 235 | 0  | 7 | 4 | 300 | 9  | 259 | 0  | 7 | 6 | 300 | 2  | 259 | 0 |
| 7 | 2 | 400 | 4  | 263 | 0  | 7 | 4 | 400 | 7  | 256 | 0  | 7 | 6 | 400 | 2  | 256 | 0 |
| 7 | 2 | 500 | 2  | 234 | 0  | 7 | 4 | 500 | 6  | 254 | 0  | 7 | 6 | 500 | 1  | 254 | 0 |
| 7 | 2 | 600 | 3  | 236 | 0  | 7 | 4 | 600 | 4  | 258 | 0  | 7 | 6 | 600 | 3  | 258 | 0 |
| 7 | 2 | 700 | 1  | 235 | 0  | 7 | 4 | 700 | 5  | 257 | 0  | 7 | 6 | 700 | 4  | 257 | 0 |

|   |   |     |   |     |   |   |   |     |    |     |   |   |   |     |   |     |   |
|---|---|-----|---|-----|---|---|---|-----|----|-----|---|---|---|-----|---|-----|---|
| 7 | 2 | 800 | 1 | 215 | 0 | 7 | 4 | 800 | 4  | 246 | 0 | 7 | 6 | 800 | 1 | 246 | 0 |
| 7 | 2 | 900 | 2 | 219 | 0 | 7 | 4 | 900 | 4  | 241 | 0 | 7 | 6 | 900 | 1 | 241 | 0 |
| 7 | 2 | 100 | 2 | 222 | 0 | 7 | 4 | 100 | 6  | 243 | 0 | 7 | 6 | 100 | 1 | 243 | 0 |
| 7 | 2 | 110 | 1 | 215 | 0 | 7 | 4 | 110 | 6  | 249 | 0 | 7 | 6 | 110 | 2 | 249 | 0 |
| 7 | 2 | 120 | 3 | 223 | 0 | 7 | 4 | 120 | 4  | 248 | 0 | 7 | 6 | 120 | 1 | 248 | 0 |
| 7 | 2 | 130 | 1 | 226 | 0 | 7 | 4 | 130 | 4  | 241 | 0 | 7 | 6 | 130 | 3 | 241 | 0 |
| 7 | 2 | 140 | 2 | 225 | 0 | 7 | 4 | 140 | 5  | 257 | 0 | 7 | 6 | 140 | 3 | 257 | 0 |
| 7 | 2 | 150 | 1 | 245 | 0 | 7 | 4 | 150 | 8  | 245 | 0 | 7 | 6 | 150 | 1 | 255 | 0 |
| 7 | 2 | 160 | 2 | 245 | 0 | 7 | 4 | 160 | 7  | 241 | 0 | 7 | 6 | 160 | 1 | 259 | 0 |
| 7 | 2 | 170 | 2 | 269 | 0 | 7 | 4 | 170 | 7  | 235 | 0 | 7 | 6 | 170 | 2 | 256 | 0 |
| 7 | 2 | 180 | 2 | 265 | 0 | 7 | 4 | 180 | 9  | 265 | 0 | 7 | 6 | 180 | 3 | 254 | 0 |
| 7 | 2 | 190 | 3 | 268 | 0 | 7 | 4 | 190 | 11 | 264 | 0 | 7 | 6 | 190 | 2 | 258 | 0 |
| 7 | 2 | 200 | 1 | 264 | 0 | 7 | 4 | 200 | 10 | 267 | 0 | 7 | 6 | 200 | 2 | 257 | 0 |
| 7 | 2 | 210 | 1 | 264 | 0 | 7 | 4 | 210 | 10 | 269 | 0 | 7 | 6 | 210 | 1 | 246 | 0 |
| 7 | 2 | 220 | 2 | 265 | 0 | 7 | 4 | 220 | 11 | 258 | 0 | 7 | 6 | 220 | 1 | 241 | 0 |
| 7 | 2 | 230 | 2 | 269 | 0 | 7 | 4 | 230 | 9  | 269 | 0 | 7 | 6 | 230 | 2 | 243 | 0 |

### 3 Podsumowanie części I

Aby rozpocząć symulację pożaru lasu w oprogramowaniu FARSITE, należało zebrać dane wejściowe. Do danych wejściowych oprogramowania należą mapy wysokości (*elevation*), nachyleń (*slope*), ekspozycji (*aspect*), rozmieszczenia paliw (*fuel model*), pokrycia terenu koronami drzew (*canopy cover*), wysokości drzew (*stand height*), wysokości podstaw korony (*crown base height*), gęstości koron drzew (*crown bulk density*). Wymienione dane tworzą tzw. plik krajobrazu (\*.LCP). Do pliku krajobrazu należy jeszcze dołączyć pliki pogody (\*.WTR), wiatru (\*.WND), wilgotność paliwa (\*.FMS) oraz korekty wiatru (\*.ADJ). Całość tworzy plik projektu: project.FPJ.

W przypadku danych posiadanych przez Regionalną Dyрекcyję Lasów Państwowych wiele z przedstawionych parametrów tworzących plik projektu nie jest do końca znanych i można je określać jedynie w przybliżeniu, co zrobili autorzy. Główną przyczyną niedostatku danych wynika między innymi z trudności pomiarowych. Mimo braku pewnych informacji możliwe jednak było do celów symulacji utworzenie brakujących map terenu. Korzystano przy tym szeroko z wiedzy i z doświadczenia pracowników z RDLP w Białymstoku.

W drugiej części pracy przedstawiono wyniki przeprowadzonej symulacji.

Autorzy pragną złożyć podziękowania kierownictwu Regionalnej Dyrekcyj Lasów Państwowych w Białymstoku oraz pracownikom tej instytucji, a w szczególności mgrowi inż. Pawłowi Chojnowskiemu oraz mgrowi inż. Marcinowi Sołogubie za udostępnienie danych niezbędnych do realizacji symulacji pożaru lasu oraz fachową pomoc.

## Literatura

1. Pastor E., Zarate L., Planas E., Arnaldos J.: Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behavior, *Progress in Energy and Combustion Science*, nr 29, pp. 139-153, 2003
2. Sullivan, A.L.: Empirical and quasi-empirical models. *International Journal of Wildland Fire*, nr 18, pp. 369-386, 2009
3. Stocks B.J., Alexander M.E., Wotton B.M., Steffner C.N., Flannigan M.D., Taylor S.W., Lavoie N., Mason J.A.: Crown fire behaviour in a northern jack pine-black spruce forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 1548–1560. doi:10.1139/X04-054
4. Butler B.W., Finney M.A., Andrews P.L., Albini F.A.: A radiation-driven model of crown fire spread. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 1588–1599. doi:10.1139/X04-074
5. Cruz M.G., Butler B.W., Alexander M.E.: Predicting the ignition of crown fuels above a spreading surface fire. Part II: Model behavior and evaluation. *International Journal of Wildland Fire* 15, 61–72. doi:10.1071/WF05045
6. Cruz M.G., Butler B.W., Alexander M.E., Forthofer J.M., Wakimoto R.H.: Predicting the ignition of crown fuels above a spreading surface fire. Part I: Model idealization. *International Journal of Wildland Fire*, 15, pp. 47-60, doi:10.1071/WF04061
7. Albini F.A.: *Wildland fires*, American Scientist, 1984, nr 72, pp. 590-597 [on-line], [dostęp: 20 maj 2014], Dostępny w Internecie: [http://www.firemodels.org/downloads/behavplus/publications/Albini\\_1984\\_AmerSci\\_v72\\_i6\\_p590-597.pdf](http://www.firemodels.org/downloads/behavplus/publications/Albini_1984_AmerSci_v72_i6_p590-597.pdf)
8. Graham R.T.: Hayman fire case study, USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, *General Technical Report RMRS-GTR-114*, 2003 [on-line], [dostęp: 20 maj 2014]. Dostępny w Internecie: <http://www.mendeley.com/catalog/hayman-fire-case-study-cd/#page-1>
9. Mitsopoulos I. D., Dimitrakopoulos A.P.: *Canopy fuel characteristics and potential crown fire behavior in Aleppo pine (Pinus halepensis Mill.) forests*, Laboratory of Forest Protection, 2007 nr 64, s. 287–299 [on-line], [dostęp: 20 maj 2014]. Dostępny w Internecie: [http://www.afs-journal.org/index.php?option=com\\_article&access=doi&doi=10.1051/forest:2007006&Itemid=129](http://www.afs-journal.org/index.php?option=com_article&access=doi&doi=10.1051/forest:2007006&Itemid=129)
10. National Fire Protection Association. Part 1: *Understanding Fire Behavior in the Wildland/Urban Interface* [on-line], [dostęp: 20 maj 2014]. Dostępny w Internecie: <http://learningcenter.firewise.org/Firefighter-Safety/1-1.html>.
11. Czerpak T., Maciak T.; *Modelowania pożaru lasu. Część I. Metody i algorytmy modelowania pożaru lasu*, Wydawnictwo CNBOP 2011, vol. 23, nr 3, s. 83-94 [on-line] [dostęp: 20 maj 2014]. Dostępny w Internecie: <http://czytelnia.cnbop.pl/czytelnia/25/268>
12. Czerpak T., Maciak T.; *Modelowania pożaru lasu. Część II. Symulacja komputerowa pożaru wybranego kompleksu leśnego*, Wydawnictwo CNBOP 2011, vol. 24, nr 4, str.99-111 [on-line], [dostęp: 20 maj 2013]. Dostępny w Internecie: <http://czytelnia.cnbop.pl/czytelnia/26/285>
13. Maciak T.: *Modelowania pożaru lasu. Część III. Modele paliwowe*, Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, Wydawnictwo CNBOP 2012, vol. 25, nr 1, str. 37-48

- [on-line], [dostęp: 20 maj 2014]. Dostępny w Internecie:  
<http://czytelnia.cnbop.pl/czytelnia/27/293>
14. Maciak T., Czerpak T.: *Modelowania pożaru lasu. Część IV. Modele inicjacji i rozprzestrzeniania się ognia koron drzew*, Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, Wydawnictwo CNBOP 2012, vol. 26, nr 2, s. 27-35 [on-line], [dostęp: 20 maj 2014]. Dostępny w Internecie: <http://czytelnia.cnbop.pl/czytelnia/28/305>
  15. Finney M.A.: *FARSITE: Fire Area Simulator - Model, Development and Evaluation*, United States Department of Agriculture, Forest Service, 2004
  16. Cohen J.D., Finney M.A., Yedinak K.M.: Active spreading crown fire characteristics: implications for modeling. In *Proceedings of 5th International Conference on Forest Fire Research, 27-30 November 2006*, Figueira da Foz, Portugal. (Ed. DX Viegas) (CD-ROM) (Elsevier BV: Amsterdam, the Netherlands)
  17. Miguel G., Cruz A., Martin E., Alexander C.: Assessing crown fire potential in coniferous forests of western North America: a critique of current approaches and recent simulation studies, *International Journal of Wildland Fire*, 19, pp. 377-398, 2010
  18. Marzewski R.: *Modelowanie i symulacja pożaru koron drzew*, praca dyplomowa magisterska, promotor T. Maciak, Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki, Białystok, 2012
  19. Vaillant N.M., Finney M.A.: Integrating Fire Behavior Models and Geospatial Analysis for Wildland Fire Risk Assessment and Fuel Management Planning, *Journal of Combustion*, 2011
  20. Netzel P.: *GIS – GRASS wprowadzenie do systemu*, Wrocław 2000.
  21. Scott Joe. H., Burgan R.E., *Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model*, United States Department of Agriculture, Forest Service, 2005
  22. Ustin S. L., Riano D., Chuvieco E., Condes S., Gonzalez-Matesanz J.: Generation of crown bulk density for *Pinus sylvestris* L. from lidar, *Remote Sensing of Environment*, nr 92, s. 345–352, 2004

## Streszczenie

W pierwszej części pracy przedstawiono sposób pozyskiwania danych wejściowych do oprogramowania FARSITE. Z RDLP otrzymano numeryczny model terenu. Mapę nachyleń i ekspozycji oraz mapę pokrycia terenu koronami drzew uzyskano w sposób pośredni. Do opisu paliw powierzchni posłużyły modele opisane przez Scotta i Burgana. Przyjęta mapa wysokości drzew, wysokości oraz gęstości koron drzew dotyczyła sosny zwyczajnej. Opis pogody i wiatru został przyjęty na podstawie średnich warunków pogodowych charakterystycznych dla początku lipca w Polsce.

**Słowa kluczowe:** symulacja rozwoju pożaru lasu, modele pożaru lasu



## **Computer simulation of fire development of the forest complex near Nowogród Part I. Selection of the input data**

### **Summary**

In the first part of the paper a method of obtaining input data into FARSITE software was presented. From RDLP obtained digital terrain model. Map of slopes, exposures and map land cover crowns of trees obtained in an indirect way. To describe the surface fuels were used models described by Scott and Burgan. Adopted map tree height and density of the tree canopy of *pinus sylvestris* concerned. Description of weather and wind has been adopted on the basis of average weather conditions characteristic for the beginning of July in Poland.

**Keywords:** forest fire simulation, forest fire models

Praca finansowana z badań statutowych Wydziału Informatyki Politechniki Białostockiej nr S/WI/1/2013.