

Streszczenie

Monitoring stanu zdrowotnego drzew jest jednym z zadań realizowanych w ramach zarządzania obszarami chronionymi, kontroli zieleni miejskiej czy ochrony lasu. Prowadzone są szeroko zakrojone badania nad opracowaniem szybkiej i precyzyjnej metody identyfikacji osłabionych i martwych osobników rosnących w różnych środowiskach.

Celem pracy było sprawdzenie, czy dane termalne z zakresu średniej podczerwieni (3,6–4,9 μm) pozyskane z pułapu lotniczego mogą być wykorzystane do badań kondycji zdrowotnej drzew. W tym celu przeprowadzono trzy analizy na niezależnych zbiorach danych w różnych środowiskach.

Badania wykonane na danych termalnych pozyskanych w ciągu dnia wykazały, że temperatura korony jest cechą specyficzną dla gatunku i zależy od położenia drzewa w terenie. Drzewa znajdujące się wewnątrz lasu miały niższą temperaturę koron do 0,70°C niż te rosnące poza lasem. Gatunkiem o najwyższej temperaturze, niezależnie od godziny pozyskania danych lotniczych, był *Pinus sylvestris*. Niskimi temperaturami charakteryzowały się *Alnus glutinosa*, *Quercus rubra* i *Quercus petraea*.

Badania nad identyfikacją miejsc żerowania kornika drukarza wykazały, że fuzja danych termalnych i skanowania laserowego umożliwiły wyznaczenie temperatury koron pojedynczych drzew *Picea abies* i sklasyfikowanie ich do trzech klas zdrowotnych (drzewa 'zdrowe' o średniej temperaturze 27,70°C; 'o osłabionej kondycji' 28,57°C i 'martwe' 30,17°C). Opracowany został schemat postępowania wykorzystujący automatyczną segmentację i uczenie maszynowe do identyfikacji drzew 'o osłabionej kondycji' i 'martwych'. Jednak, nie było możliwe rozdzielenie tych dwóch klas kondycyjnych wzorując się jedynie na danych termalnych, ponieważ większość drzew martwych była przypisywana do klasy 'osłabiona kondycja'. Wynik można interpretować jako wyodrębnienie klasy przejściowej, w której identyfikowane są ogólnie drzewa zaatakowane przez kornika drukarza.

Badania przeprowadzone w środowisku miejskim wykazały statystycznie istotne różnice między klasami kondycji zdrowotnej drzew zarówno na danych pozyskanych w dzień jak i w nocy. Korony drzew zdrowych były chłodniejsze w porównaniu do koron drzew zamierających. Średnia wartość różnicy wynosiła 3,28°C w ciągu dnia oraz 1,06°C w nocy.

Podsumowując, lotnicze dane termalne z zakresu średniej podczerwieni mogą być wykorzystane do badań kondycji zdrowotnej wybranych gatunków drzew. Zmienność

temperatur koron jest cechą zależną od gatunku i może być wskaźnikiem stanu zdrowotnego w środowisku naturalnym i miejskim. Dalsze badania są wymagane w zakresie zwiększenia precyzji określania stanu zdrowotnego drzew, szczególnie dla drzew uszkodzonych z powodu żerowania kornika drukarza. Zwiększenie dokładności identyfikacji drzew o osłabionej kondycji i martwych pozwoliłoby na skuteczniejsze zarządzanie obszarami leśnymi. Do rozwinięcia i ulepszenia przedstawionej metody można zastosować fuzję z innymi typami danych (np. zobrazowania hiperspektralne), lub posłużyć się danymi z innych nośników rejestrujących (np. bezzałogowe statki powietrzne).

Summary

Trees' health condition monitoring is one of the tasks carried out as part of the protected areas management, urban greenery control, and forest protection. Extensive research is underway to develop a quick and precise method of identifying dead trees and trees in poor condition growing in different environments.

This study aimed to check whether airborne thermal data from the middle-wave infrared range (3.6–4.9 μm) can be used to study the health condition of trees. For this purpose, three analyses were performed on independent data sets in different environments.

Studies performed on thermal data obtained during the day showed that canopy temperature is a species-specific feature and depends on a tree's location in the study area. Trees growing in the forest had a lower canopy temperature of up to 0.7°C than those growing outside. Species with the highest canopy temperatures, despite the time of airborne data acquisition, was *Pinus sylvestris*. Low canopy temperatures were found for *Alnus glutinosa*, *Quercus rubra*, and *Quercus petraea*.

Research on the identification of bark beetle feeding sites showed that the fusion of thermal data and laser scanning made it possible to determine the temperature of the individual tree crowns of *Picea abies* and classify them into three health classes ('healthy' trees with an average temperature of 27.70°C; 'in poor condition' 28, 57°C and 'dead' 30.17°C). A workflow was constructed using automatic segmentation and machine learning to identify trees in 'poor condition' and 'dead'. However, it was impossible to separate these two condition classes based on thermal data alone, as most of the dead trees were assigned to the 'poor condition' class. The result can be interpreted as the separation of a transition class in which trees attacked by the bark beetle are identified.

Studies conducted in an urban environment showed statistically significant differences between trees' health condition classes on data obtained during the day and at night. The canopies of healthy trees were cooler than those of dying trees. The mean difference between healthy and dying trees was 3.28°C during the day and 1.06°C at night.

In conclusion, middle-wave infrared thermal data acquired from an airborne level can be used to study health conditions of selected trees. The variability of canopy temperatures is a species-specific feature and can be a health status indicator in a natural and urban environment. Further research is required to increase the precision of determining the trees' health status, especially for trees damaged due to bark beetle feeding. Increasing the accuracy of identifying trees in poor condition and dead would allow for more effective

management of forest areas. To develop and improve the presented method, fusion with other types of data (i.e. hyperspectral imagery) can be used, or data from other sensor carriers (i.e. unmanned aerial vehicles).