
Bezinwazyjne diagnozowanie kondycji drzew zabytkowych z zastosowaniem tomografów PiCUS[®]

Elżbieta Chomicz*

Istotnym problemem w utrzymaniu zabytkowych drzew jest duże prawdopodobieństwo wystąpienia wewnątrz pnia rozkładu powodowanego przez grzyby, czyli zgnilizny drewna. Jest to zjawisko w pewnym sensie naturalne, wynikające z zaawansowanego wieku drzew i związanymi z tym procesami dekompozycji drewna. Obecność rozkładu jest jednak niekorzystna z punktu widzenia zachowania zabytku, ze względu na zmniejszenie odporności drzewa na działanie niekorzystnych czynników zewnętrznych, możliwość złamania lub nawet wywrócenia przez gwałtowny wiatr. Z tego powodu w utrzymaniu starych drzew ważna jest dobra znajomość stanu drewna w pniu, pozwalająca podjąć we właściwym czasie niezbędne zabiegi konserwatorskie. Trzeba jednocześnie podkreślić, że przebieg zgnilizny często przez długi czas nie łączy się z występowaniem objawów na zewnątrz drzewa. Z tego powodu, dla właściwego rozpoznania obecności rozkładu wewnątrz pnia, konieczne jest zastosowanie specjalistycznych metod diagnostycznych.

Przez wiele lat jedynym dostępnym instrumentem umożliwiającym szczegółową ocenę wewnętrznej struktury drewna drzewa stojącego był świder Presslera. Metoda ta wymaga jednak ingerencji w wewnętrzne tkanki drzewa, stąd zastosowanie jej, zwłaszcza w przypadku szczególnie cennych drzew zabytkowych, jest co najmniej kontrowersyjne. Z tego powodu, wraz z rozwojem nowoczesnych technologii w ostatnich latach, opracowano wiele alternatywnych sposobów wykrywania i lokalizacji defektów wewnątrz pnia, różniących się stopniem inwazyjności pomiaru oraz charakterem otrzymywanych informacji (penetrometry, mierniki przewodności

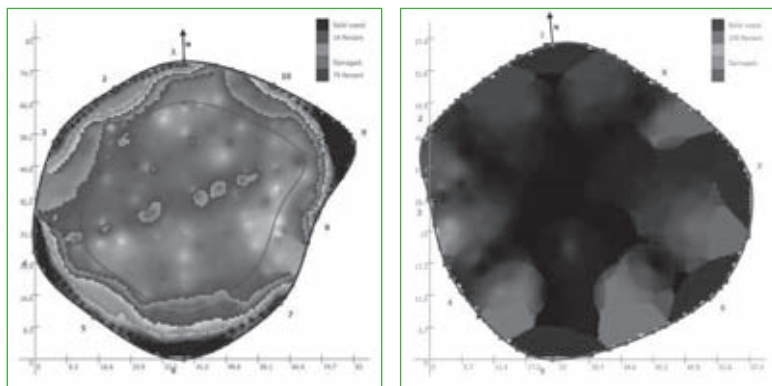
elektrycznej, wykrywacze dźwięków i ultradźwięków, termografy, radary, tomografy wykorzystujące promieniowanie X itp.). Z punktu widzenia konserwacji drzew zabytkowych najbardziej właściwe będą te metody, które ograniczają do minimum destrukcyjny wpływ badania na organizm roślinny. Do takich należą tomografia akustyczna i tomografia impedancji elektrycznej z zastosowaniem narzędzi PiCUS. Urządzenia wykorzystując właściwości odpowiednio fali dźwiękowej (tomograf PiCUS Sonic) lub prądu elektrycznego (tomograf PiCUS Treetric), generowanych na obwodzie pnia, dostarczają informacji na temat stanu drewna na jego przekroju poprzecznym.

Prace nad rozwojem tomografu PiCUS Sonic rozpoczęto w 1997 r. w Niemczech w Rostocku. Główną motywacją dla ich podjęcia była potrzeba diagnozowania kondycji drzew w zieleni publicznej, często starych, cennych okazów. Diagnozy te, poprzez ocenę wewnętrznej kondycji drzewa, miały pomagać podejmować decyzje o konieczności przeprowadzenia zabiegów konserwatorskich bądź usunięciu drzew stanowiących poważne zagrożenie dla ludzkiego życia lub mienia (np. drzewa grożące złamaniem przy drogach, w pobliżu zabudowań). W efekcie prac konstruktorских w 1998 r. otrzymano pierwszy tomogram pnia drzewa, a w 1999 firma Argus Electronic – producent urządzeń PiCUS – wprowadziła tomograf akustyczny na rynek niemiecki. Od tego czasu aparat jest stale udoskonalany i znajduje coraz szersze zastosowanie w praktycznej arborystyce, konserwacji zieleni, a także działalności naukowej. Obecnie tomografy PiCUS Sonic pracują w wielu krajach na całym świecie, od 2007 r. także w Polsce w Instytucie Badawczym Leśnictwa.

* Autorka jest pracownikiem Instytutu Badawczego Leśnictwa, Zakładu Gospodarki Leśnej Regionów Górskich w Krakowie.



1. Przebieg diagnozy akustycznej przywodzi na myśl pracę dzięcioła. Fot. M. Kapsa.



2. Tomogramy nie stwarzają większych trudności przy interpretacji: drzewo z rozległą zgnilizną wewnątrz pnia (po lewej) i nie dotknięte rozkładem (po prawej). Ilustracja: archiwum autorki.

Aparat PiCUS Treetric z kolei, jest urządzeniem nowszym w stosunku do tomografu akustycznego, wykorzystującym rozwiązania stosowane wcześniej w geologii. Aparat został wprowadzony na rynek stosunkowo niedawno i ma użytkowników dopiero w kilku miejscach na świecie (w tym również IBL).

Nazwa urządzeń PiCUS pochodzi od łacińskiej nazwy rodzaju ptaków z rodziny dzięciołowatych (*Picus sp.*) i związana jest ze sposobem przeprowadzenia pomiaru na drzewie. Pierwszym etapem diagnozy jest

wbicie na obwodzie pnia niewielkich elektrod, na głębokość kory, na wysokości przekroju poprzecznego, o którym chcemy uzyskać informację. Następnie, na związanej wokół pnia taśmie rozmieszcza się moduły elektroniczne z czujnikami, które z kolei są łączone z elektrodami. Na każdą elektrodę przypada jeden czujnik, tworząc razem tzw. punkt pomiarowy. Liczba zakładanych punktów pomiarowych zależy od średnicy pnia, przy czym zazwyczaj stosuje się od 8 do 12 punktów. Kolejnym działaniem w przebiegu badania jest generowanie fali dźwiękowej poprzez uderzenie specjalnym młotkiem na kolejnych elektrodach. To właśnie ten kluczowy etap diagnozy akustycznej przywodzi na myśl pracę dzięcioła i jemu urządzenia zawdzięczają swoją nazwę.

Zasadą działania tomografu PiCUS Sonic jest fakt, że prędkość rozchodzenia się dźwięku w dowolnym substracie zależy od jego elastyczności i gęstości. W przypadku drzew – prędkość przemieszczania się fali akustycznej w poprzek pnia zależy od gęstości i elastyczności drewna na jego przekroju poprzecznym. Większość uszkodzeń zwiększających podatność drzew na złamanie, w szczególności obecność zgnilizny wewnątrz pnia, powodują zmniejszenie gęstości i elastyczności drewna, co z kolei przejawia się zmniejszeniem prędkości fali akustycznej w miejscu wystąpienia defektu.

Urządzenie, poprzez system czujników, zapisuje czas przemieszczania się sygnałów akustycznych, wygenerowanych przez uderzenia na każdym z punktów pomiarowych. Na podstawie tych danych oraz pomierzonych wcześniej odległości pomiędzy elektrodami zostaje wyliczona prędkość dźwięku. Ponieważ po kolejnym wzbudzeniu fali akustycznej każdy z czujników rejestruje czas odebrania sygnału, otrzymujemy w efekcie pomiaru gęstą sieć prędkości dźwięków rozchodzących się w poprzek pnia. Na podstawie tych danych komputer generuje tomogram, czyli barwną wizualizację przekroju poprzecznego pnia w miejscu pomiaru. Rozkład kolorów na tomogramie wskazuje obszary o różnej gęstości drewna, stąd efekt diagnozy bywa też nazywany mapą gęstości drewna. Gęstość jest silnie skorelowana z kondycją drewna, co z kolei pozwala wnioskować o występowaniu defektów wewnątrz pnia, ich rozmiarze, lokalizacji, a pośrednio również o rodzaju uszkodzenia.

Obraz przedstawiony na tomogramie w większości przypadków nie przysparza trudności przy interpretacji. Kolor niebieski i fioletowy oznacza obszar wystąpienia uszkodzenia, a kolor brązowy – drewno nie dotknięte rozkładem.

Jak już wcześniej wspomniano, w celu obliczenia prędkości dźwięku potrzebny jest czas przemiesz-

czania się sygnału akustycznego, ale także odległość pomiędzy czujnikami. Z tego powodu bardzo ważnym elementem pomiaru jest dokładne określenie geometrii pnia. Wykonuje się je jeszcze przed przystąpieniem do właściwej diagnozy akustycznej, za pomocą specjalnej elektronicznej suwmiarki – PiCUS Calliper, skonstruowanej w celu szybkiego i dokładnego określenia geometrii przekroju poprzecznego pnia. Wartości odległości pomierzonych przy pomocy przyrządu są bezprzewodowo (przy użyciu technologii Bluetooth) wysyłane do programu PiCUS, po czym w ciągu kilku minut następuje odtworzenie kształtu pnia na ekranie przenośnego komputera. Trzeba podkreślić, że im dokładniejsze określenie kształtu przekroju poprzecznego pnia, tym bardziej dokładny i wiarygodny uzyskuje się tomogram, co nabiera szczególnego znaczenia w przypadku drzew o kształcie przekroju pnia znacznie odbiegającym od okręgu, jak np. w części odziomkowej drzew z dużymi nabiegami korzeniowymi.

Tomograf PiCUS Sonic prawidłowo diagnozuje występowanie defektów w pniu, wskazując na ich rozmiar i lokalizację na przekroju poprzecznym, co potwierdzają doświadczenia użytkowników tomografu z innych krajów, a także własne obserwacje przeprowadzone w trakcie badań w IBL. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że tak jak każde rozwiązanie, tomografia akustyczna ma również pewne ograniczenia i nie jest w stanie udzielić odpowiedzi na wszystkie pytania, jakie mogą się pojawić podczas badania drzewa. Bieg fal akustycznych, w niektórych przypadkach, może być zakłócany przez wewnętrzną strukturę drewna, jak np. drewno reakcyjne. Interpretacja tomogramu bywa również utrudniona w przypadku występowania pęknięć czy zakorków, które na tomogramie zajmują zazwyczaj większy obszar niż w rzeczywistości. Zwłaszcza okrężne i gwiazdziste pęknięcia wewnątrz pnia są przyczyną niedokładnych wyników pomiaru akustycznego, ponieważ obszar za pęknięciem pokazywany jest jak ubytek drewna spowodowany zgnilizną.

Szczególnym przypadkiem, utrudniającym prawidłowe odczytanie informacji zawartych na tomogramie akustycznym, jest występowanie u niektórych drzew gatunków liściastych, głównie wiązów i topól, tzw. mokrego drewna. Zmieniony obszar w centralnej (rdzeniowej) części pnia przedstawiony jest na tomogramie w taki sam sposób, jak spowodowany przez zgniliznę ubytek, podczas gdy obecność mokrego drewna w pniu w dużym stopniu uodparnia drewno na działanie grzybów zgniliznowych i nie ma większego wpływu na stabilność drzewa.

Można stwierdzić, że urządzenie udziela wiarygodnych informacji dotyczących gęstości drewna, nato-

miast określenie powodu występowania widocznych na tomogramie obszarów o niskiej gęstości drewna i potencjalnego znaczenia tych defektów dla stabilności i żywotności drzewa wymaga głębszej wiedzy dendrologicznej. Czasami dla całkowitej pewności co do charakteru uszkodzenia konieczne jest dodatkowe badanie alternatywną metodą, np. z użyciem rezystografu.

Część wątpliwości powstających podczas diagnozowania drzew tomografem PiCUS Sonic możliwe jest do wyjaśnienia poprzez zastosowanie urządzenia PiCUS Treetric, czyli metody tomografii impedancji elektrycznej. Aparat PiCUS Treetric, używając napięcia elektrycznego, określa wewnątrz pnia obszary o różnej impedancji, czyli oporze elektrycznym. Wy-

3. Tomografia impedancji elektrycznej – PiCUS Treetric.
Fot. M. Kapsa.



nikiem pomiaru jest dwuwymiarowa mapa impedancji elektrycznej przekroju poprzecznego pnia, gdzie każdy kolor odpowiada określonej wartości oporu elektrycznego (impedancji).

Zdolność drewna do przewodzenia prądu elektrycznego zależy od chemicznych właściwości drewna, takich jak: zawartość wody w tkankach, struktura komórek, koncentracja pierwiastków (jonów) itd. Wszystkie te właściwości ulegają zmianie, jeśli wewnątrz drzewa występuje zgnilizna. Ponieważ właściwości chemiczne drewna zmieniają się wcześniej niż właściwości fizyczne, połączenie tomografii akustycznej (Sonic) z tomografią impedancji elektrycznej (Treetric) umożliwia przeprowadzenie bardziej zaawansowanej oceny drzewa. W wielu przypadkach wynik pomiaru może być wykorzystany do analizy typu zgnilizny lub do ustalenia, czy wewnątrz pnia jest spróchniałe, czy też mamy do czynienia z mokrym drewnem, kiedy to obszar o podwyższonej wilgotności przejawia się niskim oporem elektrycznym.

Pomiar przy użyciu aparatu PiCUS Treetric jest bardzo prosty. Wykonuje się go wykorzystując elek-

trody pozostałe po pomiarze akustycznym. Przewody aparatu Treetriconic łączy się z elektrodami, po czym pomiar przebiega automatycznie. Trzeba jednak podkreślić, że interpretacja tomogramu impedancji elektrycznej może sprawiać większe trudności niż tomogramu akustycznego, a wnioskowanie o zdrowotności i stabilności drzewa w oparciu o wartości oporu elektrycznego (impedancji) wymaga dużego doświadczenia.

Tomografia drzew przy użyciu narzędzi PiCUS, mimo pewnych niedoskonałości, jest z kilku przyczyn godna polecenia. Przede wszystkim – ze względu na ciągły charakter otrzymywanych danych. Tomogram wskazuje sytuację panującą na całej powierzchni przekroju poprzecznego pnia, podczas gdy np. świder Presslera czy rezystograf udziela informacji ograniczonej tylko do miejsca (punktu) przeprowadzonej próby.

Obraz uszkodzenia na tomogramie dokładnie wskazuje na wielkość defektu i dość dokładnie lokalizuje go wewnątrz pnia. Ponadto, wykonując pomiar w kilku miejscach wzdłuż pnia, możemy dowiedzieć się jaką wysokość osiąga zgnilizna w pniu i wnioskować o pochodzeniu zgnilizny (np. gdy powierzchnia zgnilizny zmniejsza się na tomogramach z wyżej położonych przekrojów poprzecznych pnia, źródło zgnilizny stanowi prawdopodobnie infekcja systemu korzeniowego). Oprogramowanie PiCUS dysponuje również funkcją analiz trójwymiarowych (PiCUS Expert 3D), gdzie poprzez interpolację wartości pomiędzy przekrojami z różnej wysokości otrzymujemy na ekranie komputera symulację wewnętrznego wyglądu interesującego nas fragmentu pnia.

Niewątpliwą zaletą aparatów PiCUS jest łatwość otrzymywania wyników w postaci kolorowych tomogramów, nie sprawiających większych trudności przy

interpretacji. Oba urządzenia współpracują z przenośnymi komputerami, dzięki czemu wykonanie tomogramu wymaga tylko kliknięcia przycisku w programie PiCUS i nie trwa dłużej niż kilka sekund. Szybkie otrzymywanie tomogramu w terenie oszczędza czas stawiania diagnozy oraz umożliwia natychmiastowe odniesienie wewnętrznego obrazu pnia do sytuacji obserwowanej na zewnątrz drzewa. Dodatkowo, dla większej wygody przeprowadzania pomiaru, możliwe jest bezprzewodowe połączenie komputera z aparatem PiCUS w technologii Bluetooth, co pozwala osobie wykonującej badanie na swobodne poruszanie się wokół drzewa.

Ze względu na pierwotne przeznaczenie urządzeń PiCUS (diagnozowanie starych, okazałych egzemplarzy), tomografy umożliwiają wykonywanie pomiarów na drzewach o dużych średnicach, a także w dowolnym miejscu na pniu, włącznie z częścią odziomkową, często najbardziej interesującą pod względem diagnozowania stabilności drzewa. Niewielkich rozmiarów czujniki, połączone przewodami z modułami elektronicznymi, są łatwe do umieszczenia także na konarach drzewa czy nawet w wąskich zagłębieniach pomiędzy korzeniami, umożliwiając tym samym badanie drzew z dużymi nabiegami korzeniowymi.

Najważniejszym zaś atutem urządzeń PiCUS Sonic i PiCUS Treetriconic jest bezinwazyjny charakter pomiaru. Wykrywanie defektów wewnątrz pni drzew stojących za pomocą tomografów ogranicza do minimum destrukcyjny wpływ badania na organizm roślinny. Czujniki nie muszą być umieszczane głęboko w drewnie, bo jedynie na głębokość kory, co jest szczególnie istotne w przypadku tak cennych egzemplarzy jak drzewa zabytkowe, objęte prawną ochroną.

LITERATURA

Description of tree disease detection tool of the company, Materiały informacyjne firmy Argus Electronic, Argus Electronic GmbH 2007.

Picus: Treetriconic®. Electrical Impedance Tomograph for trees, Podręcznik użytkownika tomografu Picus Treetriconic, Argus Electronic GmbH 2007.

E. Chomicz, S. Niemtur, *Występowanie zgnilizny odziomkowej w wybranych drzewostanach świerkowych Karpat Zachodnich*, „Leśne Prace Badawcze” 2008, nr 69 (3), s. 233-241.

E. Chomicz, *Bezinwazyjne metody wykrywania defektów wewnątrz pni drzew stojących (Tomograf PiCUS® Sonic i PiCUS Treetriconic®)*, „Leśne Prace Badawcze” 2007, nr 3, s. 117-122.

E.A. Gilbert, E. Thomas, *Picus sonic tomography for the quantification of decay in white oak (Quercus alba) and hickory (Carya spp.)*, „J. Arboric” 2004, nr 30(5), s. 277-280.

L. Goecke, S. Rust, *Picus® Sonic Tomograph. Manual. Podręcznik użytkownika tomografu Picus Sonic*.

G. Nicolotti, L.V. Socco, R. Martinis, A. Godio, L. Sambuelli, *Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees*, „J. Arboric” 2003, nr 29(2), s. 66-77.

G. Nicolotti, P. Miglietta, *Using high-technology instruments to assess defects in trees*, „J. Arboric” 1998, nr 24(6), s. 297-302.

F. Schwarze, C. Rabe, D. Ferner, S. Fink, *Detection of decay in trees with stress waves and interpretation of acoustic tomograms*, „J. Arboric” 2004, nr 28, s. 3-19.

X. Wang, R.B. Allison, L. Wang, R.J. Ross, *Acoustic tomography for decay detection in red oak trees. Research Paper FPL-RP-64*, Madison 2007, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, s. 7.