

WOJCIECH DURLAK¹
BEATA ŻURAW-RODZIK²

Zastosowanie tomografii akustycznej w badaniach drzew pomnikowych na terenie Florianki w Rostoczańskim Parku Narodowym

Application of acoustic tomography in the study of monumental trees
in the Florianka area in the Rostocze National Park

Streszczenie. Do badań terenowych z wykorzystaniem tomografu sonicznego PiCUS® Sonic 3 wybrano okazałe drzewa rosnące we Floriance na terenie Rostoczańskiego Parku Narodowego, należące do rodzajów *Acer*, *Quercus* i *Tilia*. Przeprowadzone badania wskazują, że diagnostyka tomograficzna przekrojów pni daje dokładne wyniki i przedstawia w czytelny sposób rozmiar oraz miejsce rozkładu drewna. Tomograf PiCUS® Sonic oferuje bardzo dobre wsparcie diagnostyczne do oceny stanu zdrowotnego drzew.

Słowa kluczowe: drzewa pomnikowe, tomografia komputerowa, tomograf PiCUS® Sonic, Rostoczański Park Narodowy

WSTĘP

Drzewa wpływają na różnorodność krajobrazów, tworząc najbardziej złożone, tętniące życiem biocenozy i ekosystemy. Największe drzewa uzyskują ochronny status pomnika przyrody. Podstawy do tej nobilitacji mogą być różne, np. wyjątkowo duże rozmiary, wyróżniające kształty, sędziwy wiek, taksonomiczna odrębność i osobliwość, ale także związek okazałego drzewa z lokalną tradycją, wierzeniami oraz historią rodziny, rodu, plemienia lub ojczyzny. Polska należy do nielicznych krajów w Europie, gdzie zachowało się jeszcze stosunkowo dużo starych drzew. Przeważają wśród nich: *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill. i *Fagus sylvatica* L. [Hereźniak 2013, Dudkiewicz i in. 2016]. Drzewa weterani to bardzo ważni świadkowie historii miast i wsi. Stanowią efektowny składnik krajobrazu kulturowego – bywają często malowane, fotografowane i opisywane [Durlak i in. 2022]. Ponadto są niezwykle ważnym elementem świata przyrody oraz siedliskiem bogatego życia biologicznego i mikrobiologicznego.

Na potencjalne ryzyko przewrócenia się wiekowego drzewa wpływa nie tylko zdiagnozowana wada pnia, ale także gatunek, ogólny stan zdrowotny drzewa oraz oddziaływanie czynników zewnętrznych. Wizualna ocena drzewa (ang. visual tree assessment, VTA) jest podstawowym narzędziem pomocnym w unikaniu szkód materialnych wyrządzanych przez drzewa o osłabionej witalności, ale wykorzystywana jest również jako instrument pozwalający na gospodarowanie drzewostanem i umożliwiający długoterminowe planowanie nakładów na pielęgnację starodrzewu. Metoda ta polega na ocenie widocznych symptomów mających wpływ na utratę lub osłabienie stabilności pnia i żywotności drzewa [Mattheck i Breoler 1994, Baridon i Suchocka 2009, Suchocka 2012].

¹ Instytut Produkcji Ogrodniczej, Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, <https://orcid.org/0000-0003-3649-9432>

² Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów, Wydział Biologii Środowiskowej, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Dobrzańskiego 37, 20-262 Lublin, <https://orcid.org/0000-0001-6724-4550>, autor korespondencyjny: beata.zuraw@up.edu.pl

Szczegółowa i rutynowa kontrola powinna być wykonana nie tylko wizualnie, ale w miarę potrzeby także poprzez dokładny monitoring z wykorzystaniem najnowszych technologii służących pełnej weryfikacji stanu zdrowotnego drzew [Wang i Allison 2008, Konijnendijk i in. 2015]. Nie jest możliwe wyeliminowanie wszystkich zagrożeń związanych z drzewostanem. Niemniej jednak nauka zajmująca się analizą stabilności (statyki) drzew wnosi ważny wkład w bezpieczeństwo publiczne, zapewniając – jeśli nie doskonałą, to przynajmniej ulepszoną – metodę pomiaru statyki drzew, co zwiększa poziom komfortu z przebywania w ich otoczeniu [Allison i in. 2020, Dudkiewicz i Durlak 2021]. Jako metodę wspomagającą ocenę stanu drzewa stosuje się np. tomografię komputerową. Na podstawie uzyskanych podczas badania tomograficznego wyników uzyskuje się precyzyjne informacje o wielkości i lokalizacji zgnilizny, uszkodzeń i innych defektów wpływających na stabilność drzewa. Obecność rozkładu i jego zaawansowanie będą świadczyły o poziomie kondycji drzewa. Pod wpływem czynników zewnętrznych, takich jak silny wiatr lub nawalne opady deszczu czy śniegu, ciężar i ruch korony mogą spowodować przekroczenie granicznej wytrzymałości pnia lub systemu korzeniowego drzewa, czego konsekwencją jest jego złamanie lub wykrot. Drzewa zakwalifikowane jako potencjalnie zagrażające bezpieczeństwu przeznaczają się do obserwacji lub przeprowadza zabiegi pielęgnacyjne korygujące ich statykę. Korektę sylwetki drzewa uzyskuje się przez umiejętne zabiegi pielęgnacyjne polegające na cięciach redukujących masę korony lub stosowaniu wzmocnień mechanicznych i podpór, co nie usuwa przyczyny zagrożenia, ale na jakiś czas poprawia bezpieczeństwo. Ważne są również częstotliwość użytkowania miejsca w sąsiedztwie drzewa oraz obecność potencjalnych obiektów, które są zlokalizowane w zasięgu rażenia drzewa w razie jego upadku. Inne będą wskazania dla dużego drzewa starzejącego się w mało uczęszczanym terenie leśnym, a jeszcze inne dla drzewa rosnącego na placu miejskim.

TŁO HISTORYCZNE I OTOCZENIE

Walory przyrodnicze i krajobrazowe województwa lubelskiego wyróżniają ten region w skali Polski i Europy. Graniczne położenie fizjograficzne na styku terenów nizinnych (Polesie), wyżynnych (Roztocze) i licznych dolin rzecznych (rzeki Bug i Wisła) powoduje duże zróżnicowanie krajobrazu, fauny i flory. System ochrony tej cennej przyrody tworzą obszary i obiekty prawnie chronione, w tym 2 parki narodowe oraz 1413 pomników przyrody. Roztoczański Park Narodowy (RPN), założony w 1974 r., obejmuje najcenniejsze obszary Roztocza o powierzchni 8 tys. ha, z czego 95,5% zajmują lasy. W obrębie chronionego obszaru znajduje się dawna osada leśna Florianka – miejsce prowadzenia badań. Dwustuletnia historia Florianki, założonej w 1830 r., odzwierciedla gospodarkę Ordynacji Zamojskiej. Pierwsze stulecie to okres rozwoju od osady leśnej do przedsiębiorstwa produkującego materiał szkółkarski na potrzeby Ordynacji oraz na eksport i wymianę zagraniczną. Wymagało to ciągłej rozbudowy osady. Najpierw postawiono drewnianą leśniczówkę i dwie murowane gajówki, a następnie budynki gospodarcze oraz dwór, tzw. rządcówkę. Kolejno dobudowano stodołę, wozownię, oborę, rozbudowano następnie dwór i urządzono otoczenie: podjazd, gazon, utworzono aleje i szpaler drzew oraz założono sady [Bończak-Kucharczyk i in. 1989]. Po I wojnie światowej ograniczono się do produkcji sadowniczej. Po 1945 r. folwark objęła reforma rolna skutkująca zaniedbaniem ośrodka. Rozebrano część budynków oraz zlikwidowano sady. Po przejściu Florianki przez RPN w 1991 r. obiekty zostały przystosowane na potrzeby turystyki rowerowej. Drewniana gajówka, zwana Izbą Leśną, pełni funkcję edukacyjno-muzealną. Od 1982 r. we Floriance w Ośrodku Hodowli Zachowawczej prowadzona jest hodowla rezerwatowa konika polskiego oraz – od 2010 r. – owcy uhruskiej.

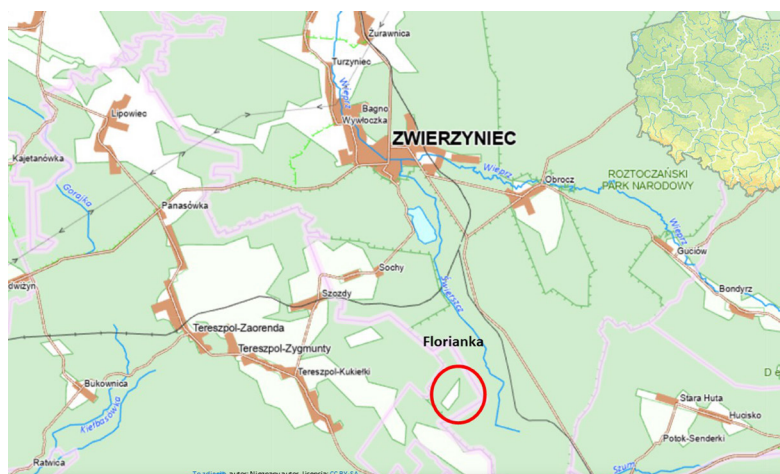
Podstawowym celem pracy była ocena przydatności tomografii dźwiękowej do weryfikacji stanu zdrowotnego drzew na terenie Florianki w Roztoczańskim Parku Narodowym.

MATERIAŁ I METODY

Analizie zostały poddane trzy przykładowe drzewa charakteryzujące się wymiarami pomnikowymi, rosnące w zróżnicowanych warunkach siedliskowych w kompleksie leśnym na terenie osady Florianka w Roztoczańskim Parku Narodowym (rycina 1).

Oceniane drzewa rosną na głównej osi dawnej osady. Pierwszy z badanych okazów – klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.) rośnie za budynkiem stodoły przy Izbie Leśnej (rycina 2A), kolejny – dąb szypułkowy (*Quercus robur* L.) w połowie drogi do gajówki Komanówka (rycina 2B), a ostatni – lipa drobnolistna (*Tilia cordata* Mill.) znajduje się w narożu dawnych budynków obory i stodoły w obecnym Ośrodku Hodowli Zachowawczej (rycina 2C).

Rycina 1. Lokalizacja Florianki na tle Polski oraz Roztoczańskiego Parku Narodowego (geoportal.gov.pl)
Figure 1. Florianka's location in the context of Poland and the Roztocze National Park (geoportal.gov.pl)



Rycina 2. Lokalizacja badanych drzew na planie osady Florianka: A – *Acer pseudoplatanus* L., B – *Quercus robur* L., C – *Tilia cordata* Mill.

Figure 2. Location of the examined trees on the plan of the Florianka settlement: A – *Acer pseudoplatanus* L., B – *Quercus robur* L., C – *Tilia cordata* Mill.



Zdecydowano się na wsparcie oceny wizualnej (VTA) tomografem dźwiękowym PiCUS® Sonic 3 firmy IML Electronic z Niemiec. Tomograf dźwiękowy umożliwia ocenę stanu zdrowotnego wnętrza pnia w sposób bezinwazyjny, a jedynym czynnikiem ingerującym w strukturę tkanek są szpilki pomiarowe wbijane w warstwę martwicy korkowej. Szpilki i przyłączone do nich sensory rozmieszczono na wysokości spodziewanych infekcji, ubytków lub pustek po wcześniejszym opukaniu pni drzew młotkiem diagnostycznym. Liczba sensorów zależała od średnicy pnia mierzonego drzewa. Wpływała ona także na rozdzielczość otrzymanych tomogramów. Za pomocą suwmiarki elektronicznej PiCUS Calliper zmierzono dokładnie geometrię pni drzew. U drzew, które charakteryzują się znacznymi rozmiarami, pojawił się problem ograniczonego zasięgu suwmiarki. W tym przypadku pomiar odległości pomiędzy punktami pomiarowymi wykonywano więc ręcznie za pomocą zwijanej miary. Przesłane do komputera dane posłużyły do wygenerowania w specjalistycznym oprogramowaniu barwnego tomogramu, który

umożliwił analizę stanu zdrowotnego wnętrza pnia. Rozkład kolorów wskazał obszary o różnej gęstości drewna, która świadczy o występowaniu defektów wewnątrz pnia, ich rozmiarze i lokalizacji.

Zastosowana dodatkowo metoda oceny stanu zdrowotnego drzew z wykorzystaniem tomografii dźwiękowej należy do rozwijających się technik badawczych umożliwiających bezinwazyjną analizę wewnętrznych struktur pni drzew. Stosowana jest do wykrywania infekcji grzybowych prowadzących do postępującego rozpadu drewna oraz wad wewnętrznych pnia [Wang i in. 2007, Deflorio i in. 2008, Chomicz 2007, 2010, Brazeo i in. 2011, Żuraw i in. 2016]. Dzięki temu możliwa jest np. selekcja drzew zainfekowanych lub tych z próchnicą części rdzeniowej pnia w uprawach leśnych [Kazemi-Najafi i in. 2009, Niemtur i in. 2014, Allison i Wang 2015]. Metoda jest bardzo przydatna w ocenie stanu zdrowotnego wiekowych drzew o osłabionych siłach witalnych, drzew o wymiarach pomnikowych czy też tych, które już występują w rejestrze jako pomniki przyrody.

Tabela 1. Skala witalności drzew według Roloffa [2016] zmodyfikowana przez Siewniaka i in. [2020]
Table 1. Roloff tree vitality scale [2016] modified by Siewniak et al. [2020]

Faza Phase	Charakterystyka Characteristics
FW 0 – eksploracji	Drzewo zdrowe/witalne, wytwarzające długie pędy zarówno główne, jak i boczne. Cała strefa wierzchołkowa drzewa składa się z gęstej sieci długopędów równomiernie wypełniających przestrzeń. Ugałęzienie jest harmonijne i zwarte, a korona jest bez większych luk
FW 1 – degeneracji	Drzewo lekko osłabione, o krótszych, wyrastających pędach. Pęd wieloletni na skutek skracania się pędów bocznych charakteryzuje się strukturą wąską, podłużną. W górnej części korony występują struktury podłużne. W wyniku postępującego pozbywania się krótkopędów i ogołacania się gałęzi powstają nieliczne luki we wnętrzu korony
FW 1/2 – degeneracji/stagnacji	Drzewo osłabione, o stanie zdrowotnym całego drzewa na poziomie średnim/słabym; charakteryzuje się wyraźną tendencją do obniżania stanu zdrowotnego. Przyrosty są wyraźnie zahamowane. Procesy obumierania korony są wyraźne, a rokowania powrotu do fazy 1 nikłe
FW 2 – stagnacji	Drzewo silnie osłabione z okresem zastoju wzrostu, w którym wyrastają głównie krótkopędy. Na obrzeżach korony pojawiają się struktury pędzelkowate i krótkopędy. Większe luki występują stale we wnętrzu korony. Wierzchołek korony jest spłaszczony. W koronie występują wyłącznie krótkopędy
FW 2/3 – stagnacji/rezygnacji	Drzewo powoli obumierające. Stan zdrowotny całego drzewa słaby/ bardzo słaby. Drzewo ma wyraźnie zahamowany przyrost pędów bez możliwości regeneracji i powrotu do fazy 2
FW 3 – rezygnacji	Drzewo wyraźnie obumierające, z dominującym procesem usychania pędów. Po ogołoceniu z drobnych gałęzi pozostają tylko grube gałęzie. Korona przestaje być zwarta, z pojawiającymi się odizolowanymi częściami. Wierzchołek zamierający z obumieraniem większych gałęzi. Luki w ugałęzieniu stają się coraz większe

Dodatkową zaletą stosowania tomografu sonicznego jest możliwość skorzystania z metody Tree SA – pozwalającej określić wytrzymałość pnia na złamanie. Metoda ta jest oparta na trójkącie statyki, gdzie uwzględnia się trzy jego elementy: materiał, kształt i obciążenie. Sposób ten jest tomograficznym odpowiednikiem metody oceny statyki – SIA (ang. static integrated assessment), która została opracowana i opisana przez Wessolly’ego i Erba [2016]. Wyliczenia metody Tree SA są skonfigurowane z oprogramowaniem Picus Q74EXP, które obsługuje pracę tomografu. W sposobie tym przyjmuje się współczynnik bezpieczeństwa na poziomie 1,5–2,0 odpowiadającym wartościom 150–200 w metodzie SIA. Zatem jest to współczynnik większy o 50–100% od podstawowego współczynnika bezpieczeństwa, którego wartość jest równa 1 (dla metody SIA 100), co w naszym rejonie geograficznym gwarantuje wystarczającą odporność na najsilniejsze wiatry. Dla tego współczynnika wyliczana jest następnie wymagana procentowa wytrzymałość resztkowa litego drewna pnia drzewa, którą porównuje się z obliczonym na podstawie badania tomograficznego procentowym udziałem drewna całkowicie sprawnego technicznie (drewna zdrowego). Mając wszystkie pomiary, można następnie zmierzyć i odwzorować na

tomogramie minimalną grubość ścianki drzewa dla danego współczynnika bezpieczeństwa i zmierzyć geometryczny moment bezwładności (dla ciał jednorodnych, iloraz masowego momentu bezwładności przez gęstość), który stanowi podstawę do określenia wskaźnika wytrzymałości przekroju na zginanie (iloraz geometrycznego momentu bezwładności względem osi obojętnej przez odległość skrajnego włókna przekroju tej osi). Oprócz dokładnego pomiaru wysokości mierzy się także średnicę znamionową pnia na wysokości 100 cm, co pozwala na lepsze odwzorowanie morfologicznego przekroju podłużnego pnia danego gatunku drzewa.

Każde z badanych drzew poddano ocenie, uwzględniając podstawowe dane dendrometryczne, takie jak: nazwa gatunkowa, obwód pnia na wysokości 1,3 m, wysokość drzewa, zasięg korony i stan zdrowotny. Drzewa zlokalizowano na mapie za pomocą modułu GPS wchodzącego w skład jednostki centralnej tomografu. Pomiaru wysokości i zasięgu korony zmierzono dalmierzami laserowymi Nikon Forestry PRO i Leica Disto D5. Przybliżony wiek drzew oceniono szacunkowo na podstawie tabel wiekowych Majdeckiego [1980–1986] oraz ogólnodostępnych źródeł [Workingham District Veteran Tree Association, Good Calculators].

Do oceny stanu vitalności drzew wykorzystano metodę opracowaną przez Roloffa [2016] zmodyfikowaną przez Siewniaka i in. [2020], w której uwzględnia się poszczególne fazy vitalności drzewa, począwszy od fazy eksploracji (FW 0) aż do fazy rezygnacji – obumierania (FW 3); patrz tabela 1.

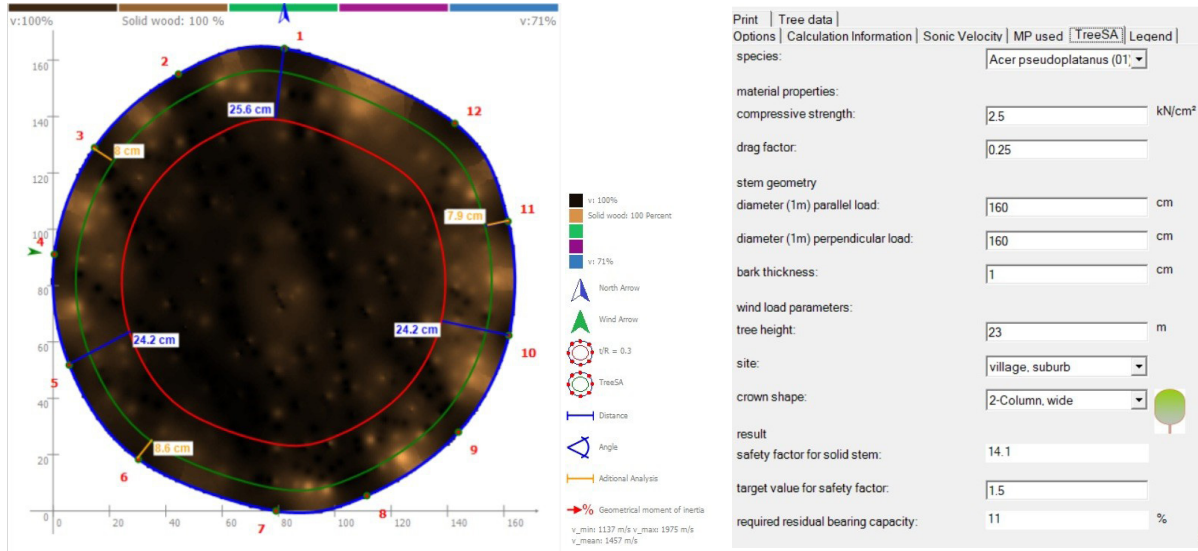
WYNIKI

Acer pseudoplatanus L. (50°33'22.698 N i 22°59'19.438 E) to drzewo z obwodem pnia na wysokości pierśnicy równym 516 cm, o wysokości 25,7 m oraz zasięgiem korony 18 m (rycina 2A, tabela 2). Na jego pniu założono 12 punktów pomiarowych rozlokowanych na wysokości 100 cm od poziomu gruntu (rycina 3). Po analizie otrzymanych wyników stwierdzono, że oceniany egzemplarz charakteryzuje się bardzo dobrą strukturą wnętrza pnia, o czym świadczy m.in. wysoka prędkość rozchodzenia się fal dźwiękowych (jednolita, ciemna barwa na tomogramie) pomiędzy wszystkimi sensorami, odpowiadająca sprawnemu technicznie w 100% drewnu na całym przekroju poprzecznym pnia (rycina 4).

Rycina 3. Pień *Acer pseudoplatanus* L. podczas pomiaru tomografem dźwiękowym PiCUS® 3 (fot. W. Durlak)
Figure 3. The trunk of *Acer pseudoplatanus* L. during measurement with the PiCUS 3 sonic tomograph (photo by W. Durlak)



Rycina 4. Tomogram przekroju poprzecznego pnia u *Acer pseudoplatanus* L. i obliczona metodą Tree SA wymagana wytrzymałość resztkowa litego drewna pnia drzewa
 Figure 4. Tomogram of the cross-section of the trunk of *Acer pseudoplatanus* L. and the required residual strength of the solid wood of the tree trunk calculated using the Tree SA method



Rycina 5. Widok ogólny na pokrój *Acer pseudoplatanus* L. (fot. W. Durlak)
 Figure 5. General view of the habit of *Acer pseudoplatanus* L. (photo by W. Durlak)



Statyka drzewa jest utrzymana w bezpiecznym zakresie, na co wskazuje z kolei wyliczona metodą Tree SA wymagana pozostała nośność (11%) przy jednocześnie 100% zdrowotności pnia. Zapas zdrowej tkanki jest więc bardzo duży w stosunku do wymaganej minimalnej nośności (rycina 4). Według skali Roloffa drzewo znajduje się w fazie FW 1/2, co potwierdziła jego ocena wizualna. Niewielkie ilości suszu gałęziowego i jedno ognisko jemioty w górnych partiach korony nie wpływają jednak na osłabienie „siły życiowej” drzewa (rycina 5). Wiek drzewa ocenia się średnio na 265 lat.

***Quercus robur* L.** (50°33'19.8 N i 22°59'6.175 E). Okaz charakteryzuje się znacznymi rozmiarami (tabela 2). Obwód pnia zmierzony na wysokości pierśnicy wynosi 737 cm, a wysokość drzewa to 26 m przy rzucie korony równym 30 m (rycina 2B). Podczas prowadzonych pomiarów na pniu na wysokości 100 cm od poziomu gruntu założono 20 sensorów (rycina 6). Uzyskane wyniki wskazują na bardzo rozległe zniszczenia wewnętrznych struktur pnia. Można z dużym prawdopodobieństwem ocenić, że drzewo zamiera. Świadczy o tym bardzo duża powierzchnia (80%) drewna uszkodzonego (kolor niebieski na tomogramie) przy jedynie 14% obszaru drewna zdrowego, sprawnego technicznie. Tylko centralna część przekroju poprzecznego pnia i jego wąski pas od strony wschodniej mają właściwą strukturę. Pozostały obszar przejawia wyraźną tendencję do postępującego procesu próchnienia (rycina 7).

Rycina 6. *Quercus robur* L. „Florian” z objawami zaawansowanego procesu rozkładu wnętrza pnia podczas pomiaru tomografem dźwiękowym PiCUS 3® (fot. W. Durlak)

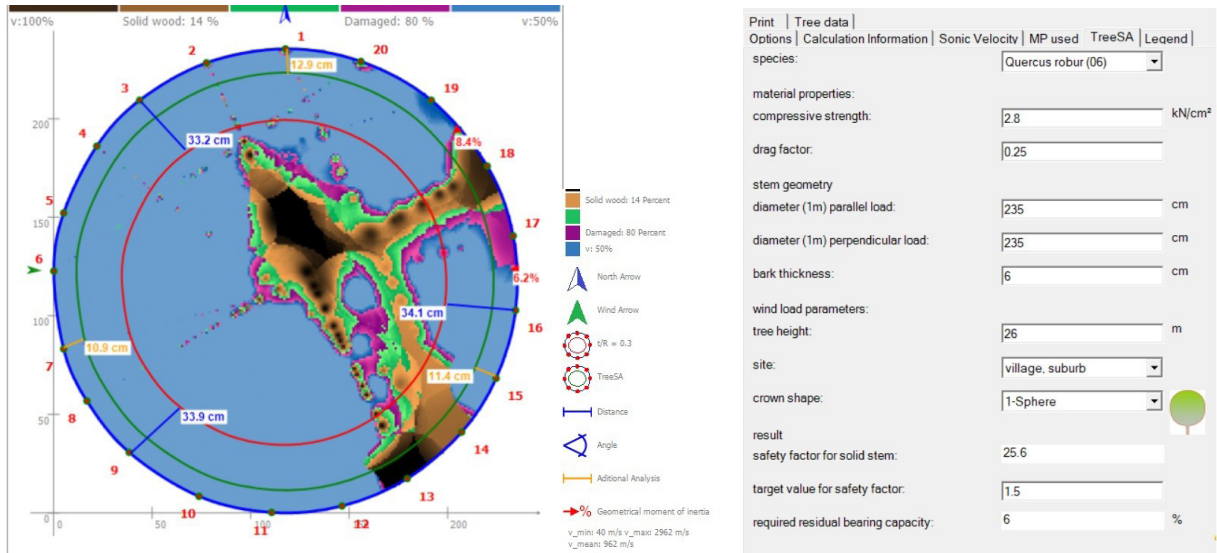
Figure 6. *Quercus robur* L. “Florian” showing signs of advanced decay inside the trunk during measurement with a PiCUS 3® sonic tomograph (photo by W. Durlak)



Ocena wizualna tego egzemplarza potwierdziła bardzo słabą vitalność drzewa. Pień znajduje się w stanie zaawansowanego rozkładu wewnętrznego, czego objawami są odpadająca na dużym odcinku pnia kora i widoczne wysypujące się próchno praktycznie na całym obwodzie w dolnej jego części. Korona składająca się z kilku grubych konarów charakteryzuje się bardzo dużym procentem posuszu i zamierającymi lub już martwymi, stwarzającymi duże ryzyko dla otoczenia gałęziami (rycina 8). Już w trakcie pomiarów „Florian” został wygradzony z informacją o ryzyku upadających gałęzi w zasięgu jego korony. W skali Roloffa drzewo znajduje się w fazie FW 3 (zamierania). Uzyskany wynik określający wymaganą pozostałą nośność w stosunku do procentu zdrowego drewna jest dużo niższy i wynosi tylko 6%. Zapas zdrowej tkanki jest więc niewielki i może w ekstremalnych warunkach stanowić słaby punkt, biorąc pod uwagę stabilność drzewa (rycina 7). Wprawdzie współczynnik bezpieczeństwa jest duży (25,6), co skłania do postawienia tezy, że drzewo jest bezpieczne, ale nie można wykluczyć różnych scenariuszy co do jego przyszłości. Zależy to jednak od wielu czynników, nie tylko biologicznych, ale przede wszystkim pogodowych. Przybliżony wiek drzewa można oszacować na około 470 lat.

Należy mieć nadzieję, że okaz, jakim jest dąb „Florian”, jeszcze wiele lat postoi na swoim miejscu, kończąc powoli swoją misję, stając się jednocześnie siedliskiem licznych nowych mikrohabitatów.

Rycina 7. Tomogram przekroju poprzecznego pnia u *Quercus robur* L. i obliczona metodą TreeSA wymagana wytrzymałość resztkowa litego drewna pnia drzewa
 Figure 7. Tomogram of the cross-section of the trunk of *Quercus robur* L. and the required residual strength of the solid wood of the tree trunk calculated using the TreeSA method



Rycina 8. Widok ogólny na *Quercus robur* L. „Florian” (fot. W. Durlak)
 Figure 8. General view of *Quercus robur* L. “Florian” (photo by W. Durlak)



***Tilia cordata* Mill.** (50°33'10.242 N i 22°58'54.202 E). Drzewo charakteryzuje się obwodem pnia na wysokości pierśnicy równym 385 cm (rycina 2C, tabela 2). Jego wysokość wynosi 23 m, a zasięg korony to 30 m. Na pniu na wysokości 100 cm nad poziomem gruntu rozmieszczono 11 sensorów mierzących prędkość rozchodzenia się dźwięku wewnątrz pnia (rycina 9). Uzyskane w wyniku badania dane w postaci wygenerowanego tomogramu obrazują początki rozkładu drewna w części rdzeniowej pnia, sugerując rozwijający się ubytek wgłębny (rycina 10). W momencie przeprowadzenia pomiarów

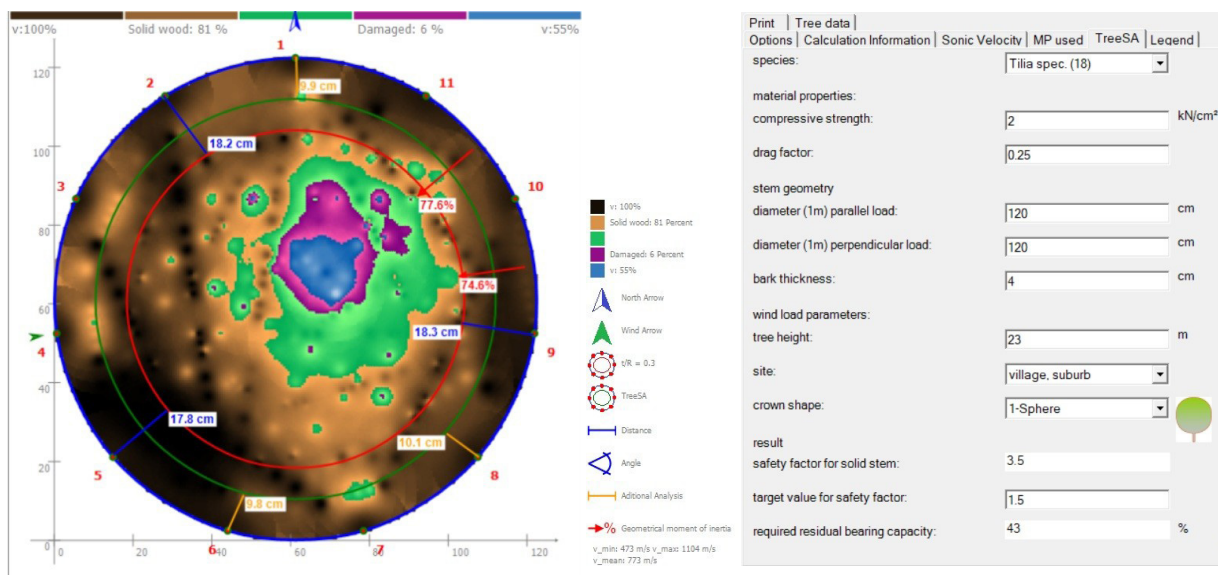
stopień rozkładu tkanek wynosił 6%. Drewno sprawne technicznie (zdrowe) zajmowało natomiast powierzchnię 81%. Barwa zielona na tomogramie określa postępujące zmiany destrukcyjne, który stanowi strefę przejściową pomiędzy drewnem sprawnym technicznie a drewnem uszkodzonym (rycina 10). Proces próchnienia będzie się niewątpliwie powoli nasilał w kolejnych latach, czego efektem będzie powiększający się ubytek w głębszy. Nie ma to na razie wpływu na zachwianie statyki drzewa i zwiększenie ryzyka złamania pnia. Wyliczona metodą TreeSA wymagana pozostała nośność to 43% przy zdrowotności pnia na poziomie 81%. Zapas zdrowej tkanki jest więc wystarczająco duży w stosunku do występujących uszkodzeń (rycina 10). U lip przy znacznym rozkładzie wnętrza pnia tworzą się często wewnątrz korzenie przybyszowe, które mogą dodatkowo pełnić rolę wzmocnień (kotew), tak więc nawet przy znacznych uszkodzeniach wewnętrznych drzewo może być jeszcze bardzo stabilne.

Rycina 9. Pień *Tilia cordata* Mill. z założonymi sensorami i jednostką centralną (fot. W. Durlak)
Figure 9. *Tilia cordata* Mill. trunk with sensors and central unit installed (photo by W. Durlak)



Rycina 10. Tomogram przekroju poprzecznego pnia u *Tilia cordata* Mill. i obliczona metodą TreeSA wymagana wytrzymałość resztkowa lekkiego drewna pnia drzewa

Figure 10. Tomogram of the cross-section of the trunk of *Tilia cordata* Mill. and the required residual strength of the solid wood of the tree trunk calculated using the TreeSA method



Rycina 11. Widok ogólny na pokrój *Tilia cordata* Mill.
(fot. W. Durlak)

Figure 11. General view of the habit of *Tilia cordata* Mill.
(photo by W. Durlak)



Rycina 12. Dren odprowadzający wodę z wnętrza pnia
(fot. W. Durlak)

Figure 12. A drain that drains water from the inside
of the tree trunk (photo by W. Durlak)



Tabela 2. Charakterystyka badanych drzew
Table 2. Characteristics of the tested trees

Badana cecha The tested feature	Gatunek/Species		
	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	<i>Quercus robur</i> L.	<i>Tilia cordata</i> L.
Obwód pnia na wys. 130 cm (cm)	516	737	386
Wysokość (m)	25,7	26,0	23,0
Zasięg korony (m)	18	30	30
Wiek (lata)	265	470	155
Drewno sprawne technicznie (%)	100	10	81
Pozostała nośność (%)	11	6	43
Zdrowotność pnia (%)	100	14	81
Stopień w skali witalności Roloffa	1/2	3	1

Podczas oceny wizualnej drzewa zwrócono dodatkowo uwagę na nierównomiernie rozłożoną koronę. Część wschodnia jest lekko odchylona od pionu i przewyższa jej część środkową. Jeden z głównych konarów po stronie zachodniej jest natomiast ułożony poziomo, tuż nad gruntem (rycina 11). Zbierająca się wewnątrz woda opadowa jest odprowadzana zainstalowanym w pniu drenem, co znacznie spowalnia zapoczątkowane procesy rozkładu we wnętrzu pnia, nie dopuszczając do jego nadmiernego zawilgocenia (rycina 12). Według skali Roloffa stan witalny drzewa można ocenić na fazę 1. Wiek drzewa oszacowano w przybliżeniu na 155 lat.

DYSKUSJA

Przeprowadzone za pomocą tomografii dźwiękowej badania mogą być przydatne w diagnozowaniu stanu zdrowotnego drzew zabytkowych, cennych kulturowo i przyrodniczo, a także rosnących w przestrzeni miejskiej, w celu poprawy bezpieczeństwa w ich otoczeniu, na co zwrócili już uwagę Alison i Wang [2015]. Tomografia komputerowa jako jedna z bezinwazyjnych metod diagnostycznych nie

naraża drzew na dodatkowy stres, a u tych w złym stanie fizjologicznym ogranicza do minimum ryzyko wtórnej infekcji przez patogeny chorobotwórcze. Potwierdza się też teza, na którą wskazuje Chomicz [2010], że dzięki tomografii komputerowej uzyskuje się całościowy obraz powierzchni przekroju poprzecznego pnia, co znacznie ułatwia końcową interpretację uzyskanych wyników. Metody inwazyjne, takie jak odwierty świdrem Presslera czy rezystografia, dają natomiast informację o stanie pnia tylko w miejscu przeprowadzonej próby badawczej. Żeby mieć pełny obraz przekroju poprzecznego pnia, należałoby wykonać kilka lub kilkanaście odwiertów na całym jego obwodzie, co byłoby stresujące dla drzewa, szczególnie takiego o osłabionych siłach vitalnych.

Podstawowym i powszechnie stosowanym sposobem oceny drzew jest metoda wizualna (VTA) [Mattheck i Breoler 1994, Pokorny i in. 2003, Baridon i Suchocka 2009, Suchocka 2012]. Wielu autorów potwierdza fakt, że tomografia komputerowa dzięki możliwości wykrywania infekcji grzybowych, wad wewnętrznych czy pustek w pniu jest doskonałym, uzupełniającym podstawową diagnostykę narzędziem do precyzyjnej oceny zdrowotności drzew [Nicolotti i in. 2003, Wang i in. 2007, Deflorio i in. 2008, Brazeo i in. 2011, Mousavi i in. 2023]. Wiedza o stanie wnętrza pnia wraz z oceną wielkości potencjalnych ubytków lub rozkładu grzybiczego ułatwia osobom decyzyjnym nadanie toku dalszego postępowania. Pozwala to na podjęcie właściwych działań zaradczych wpływających na bezpieczeństwo użytkowników terenu i mienia bez radykalnych działań skutkujących niejednokrotnie wycinką lub znacznym osłabieniem drzewa, co w krótkim czasie pogłębia istniejące problemy.

PODSUMOWANIE

Uzyskane w procesie badawczym wyniki pozwoliły na zlokalizowanie zmian destrukcyjnych wywołanych np. zaawansowaną próchnicą wewnątrz pnia i podjęcie działań wpływających na bezpieczeństwo otoczenia. Wygenerowane tomogramy przedstawiają w czytelny sposób rozmiar i miejsce ewentualnego rozkładu drewna. Ostateczny wynik potwierdzający dane uzyskane podczas pomiaru tomograficznego można zweryfikować w radykalny sposób, poprzez np. ścięcie drzewa lub za pomocą metod inwazyjnych. Niestety w przypadku drzew bardzo cennych takie rozwiązania nie wchodzi w rachubę.

Kształt przekroju poprzecznego próby wpływa na dokładność badania tomograficznego, dlatego ważne jest zastosowanie jak największej dostępnej liczby czujników rozmieszczanych wokół pnia. Metoda z wykorzystaniem tomografii akustycznej może być z powodzeniem wykorzystana do oceny stanu zdrowotnego wiekowych drzew, choć w przypadku, gdy obwód ich pnia jest większy od zasięgu suwmiarki, wydłuża się czas samego badania, ponieważ pomiary geometrii pnia muszą być wykonane odrębnie za pomocą taśmy mierniczej.

Przykładowe badania zawarte w niniejszej publikacji ukazują nowe możliwości w gospodarowaniu drzewostanem, ekologii krajobrazu czy architekturze krajobrazu.

PIŚMIENNICTWO

- Allison R.B., Wang X., 2015. Nondestructive testing in the urban forest. W: R.J. Ross (red.), *Nondestructive evaluation of wood*. General Technical Report FPL-GTR-238. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory Madison, WI, U.S., 77–86.
- Allison R.B., Wang X., Senalik C.A., 2020. Methods for nondestructive testing of urban trees. *Forests* 11(12), 1341. <https://doi.org/10.3390/f11121341>
- Baridon D., Suchocka M., 2009. Wizualna metoda oceny statyki drzew. Co ma wpływ na statykę drzewa i jak rozpoznać zagrożenie. *Administrator* 2, 16–19.
- Brazeo N.J., Marra R.E., Göcke L. i in., 2011. Non-destructive assessment of internal decay in three hardwood species of north-eastern North America using sonic and electrical impedance tomography. *Forestry* 84(1), 33–39. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpq040>
- Bończak-Kucharczyk E., Bondaryk D., Żukowski J. i in., 1989. Dokumentacja ewidencyjna założenia ogrodowego we Floriance gmina Józefów. Numer ewidencyjny 2334. Ośrodek Badań i Dokumentacji Zabytków w Zamościu, Zamość.
- Chomicz E., 2007. Bezinwazyjne metody wykrywania defektów wewnątrz pni drzew stojących (Tomograf PiCUS® Sonic i PiCUS® Treetric). *Leśne Prace Badawcze* 3, 117–121.
- Chomicz E., 2010. Bezinwazyjne diagnozowanie kondycji drzew zabytkowych z zastosowaniem tomografów PiCUS®. *Kurier Konserw.* 8, 29–32.

- Deflorio G., Fink S., Schwarze F., 2008. Detection of incipient decay in tree stems with sonic tomography after wounding and fungal inoculation. *Wood Sci. Technol.* 42, 117–132. <https://doi.org/10.1007/s00226-007-0159-0>
- Dudkiewicz M., Durlak W., Dąbski M. i in., 2016. Możliwość zastosowania gatunków obcego pochodzenia w rewitalizacji obiektów zabytkowych na podstawie występowania drzew pomnikowych. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Sect. EEE Hortic.* 26(4), 1–17.
- Dudkiewicz M., Durlak W., 2021. Sustainable management of very large trees with the use of acoustic tomography. *Sustainability* 13(21), 12315. <https://doi.org/10.3390/su132112315>
- Durlak W., Dudkiewicz M., Milecka M., 2022. A combined methods of senile trees inventory in sustainable urban greenery management on the example of the city of Sandomierz (Poland). *Land* 11(11), 1914. <https://doi.org/10.3390/land11111914>
- Good Calculators, <https://goodcalculators.com/tree-age-calculator/> [dostęp 8.10.2025].
- Hayes E., 2001. Evaluating tree defects. 2nd ed. Safetrees, Rochester, MN, 3.
- Hereźniak J., 2013. Mocarze czasu. Pomnikowe drzewa na świecie i na Ziemi Łódzkiej. Łódzkie Towarzystwo Naukowe.
- Kazemi-Najafi S., Shalbfan A., Ebrahimi G., 2009. Internal decay assessment in standing beech trees using ultrasonic velocity measurement. *Eur. J. Forest Res.* 128, 345–350.
- Konijnendijk C., Nilsson K., Randrup T.B. i in. (red.), 2015. *Urban forests and Trees*. Springer, Berlin/Heidelberg, Germany.
- Luley C.L., 2005. Wood decay fungi common to living urban trees in the northeast and central United States. *Urban Forestry LLC*, Naples, NY, 61.
- Majdecki L., 1980–1986. Tabela wiekowa drzew. Rkps, Oddział Architektury Krajobrazu SGGW, Warszawa.
- Mattheck C., Breoler H., 1994. *The body language of trees*. HMSO, London, ss. 240.
- Mousavi M., Taskhiri M.S., Gandomi A.H., 2023. Standing tree health assessment using contact-ultrasonic testing and machine learning. *Comp. Electr. Agric.* 209, 107816. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107816>
- Nicolotti G., Socco L.V., Martinis R. i in., 2003. Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees. *J. Arboric* 29(2), 66–77.
- Niemtur S., Chomicz-Zegar E., Kapsa M., 2014. Occurrence of the silver fir (*Abies alba* Mill.) butt rot in protected areas. *Leśne Prace Badaw.* 75(4), 343–352. <https://doi/10.2478/frp-2014-0031>.
- Pokorny J., O'Brien J., Hauer R. i in., 2003. *Urban tree risks management. A community guide to program design and implementation*. NA-TP-03-03. USDA Forest Service, Northeastern Area, State and Private Forestry, St. Paul, MN.
- Roloff A., 2016. *Urban tree management for the sustainable development of green cities*. Willey Blackwell, 90–94.
- Siewniak M., Wesolly L., Bobek W. i in., 2020. *Statyka drzew. Analiza zawodności. Poradnik profesjonalisty*. Centrum Dendrologiczne Pawłowiec.
- Suchocka M., 2012. Zalety i ograniczenia stosowania wizualnej metody oceny drzew (VTA) jako odpowiedź na problemy związane z zagrożeniami powodowanymi przez drzewa miejskie. *Człow. Środ.* 36(1–2), 97–110.
- Wang X., Allison R.B., Wang L. i in., 2007. Acoustic tomography for decay detection in red oak trees. *Research Paper FPL-RP-642*. Madison WI:U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1–7. <https://doi.org/10.2737/FPL-RP-642>
- Wang X., Allison R.B., 2008. Decay detection in red oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling. *Arboric. Urban Forest.* 34(1), 1–4. <https://doi.org/10.48044/jauf.2008.001>
- Workingham District Veteran Tree Association, www.wdvta.org.uk/pdf/Estimating-the-age-of-trees.pdf [dostęp 8.10.2025].
- Wessolly L., Erb M., 2016. *Manual of tree statics and tree inspection*. Patzer Verlag Berlin–Hannover.
- Żuraw B., Durlak W., Dudkiewicz M. i in., 2016. Assessment of the health of monumental trees growing in a historic park in Zwierzyniec using an acoustic tomograph. *Czas. Tech., Arch.* 1A, 217–236.

Źródło finansowania: SUBB.WOP.19.021

Abstract. For field studies using the PiCUS 3 sonic tomograph, impressive trees growing in Florianka, Roztocze National Park, belonging to the genera *Acer*, *Quercus* and *Tilia*, were selected. The conducted studies indicate that tomographic diagnostics of tree trunk cross-sections produce accurate results and clearly show the extent and location of wood decay. The PiCUS® Sonic 3 offers excellent diagnostic support for assessing the health of trees.

Keywords: monumental trees, computed tomography, PiCUS® Sonic 3, Roztocze National Park

Otrzymano/Received: 8.12.2025
Zaakceptowano/Accepted: 16.03.2026
Online first: 30.04.2026

Cytowanie: Durlak W., Żuraw-Rodzic B., 2026. Zastosowanie tomografii akustycznej w badaniach drzew pomnikowych na terenie Florianki w Roztoczańskim Parku Narodowym. *Ann. Hortic.*, online first, 1–12. <https://doi.org/10.24326/ah.2026.5643>