

Wykorzystanie tomografii komputerowej do oceny stanu zdrowotnego lip drobnolistnych (*Tilia cordata* Mill.) historycznej alei w Krasieninie (województwo lubelskie)

Wojciech Durlak, Margot Dudkiewicz,
Krystyna Pudelska, Marek Dąbski

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Katedra Roślin Ozdobnych,
Dendrologii i Architektury Krajobrazu, ul. Głęboka 28, 20–612 Lublin

Streszczenie: Celem pracy jest ocena kondycji wybranych drzew rosnących w zabytkowej alei lipowej w Krasieninie, która jest drogą dojazdową do XIX-wiecznego klasycystycznego dworu rodu Mrozewiczów. Aleja lipowa wyznacza główną oś założenia i wraz z obiektem dworsko-parkowym jest wpisana do rejestru zabytków woj. lubelskiego. Oceny lip drobnolistnych dokonano na podstawie zewnętrznych oględzin drzew oraz za pomocą urządzenia PICUS Sonic Tomograph pozwalającego w precyzyjny sposób określić jakościową strukturę drewna danego egzemplarza w badanym przekroju poprzecznym. Wyniki badań wskazują, że stan zdrowotny wytypowanych do oceny drzew w zabytkowej alei lipowej jest zróżnicowany. Większość lip charakteryzuje się obniżoną kondycją zdrowotną. Obrazy tomogramów wykazały, że u ponad połowy badanych drzew udział drewna całkowicie sprawnego technicznie waha się od 37 do 42%, a minimalna grubość ścianki wynosi od 14,9 do 18,3 cm. Nie oznacza to jednak, że drzewa można uznać za bezpieczne pod względem stabilności (wytrzymałości mechanicznej). W dużej mierze zależy to od stopnia rozkładu drewna wewnątrz pnia i sposobu jego umiejscowienia. Na dwóch okazach zaobserwowano występowanie owocników grzybów: *Panellus stipticus* i *Pleurotus ostreatus*. Jedna z lip posiada szczątkową ilość drewna sprawnego technicznie i jest egzemplarzem zagrażającym bezpieczeństwu ruchu.

Słowa kluczowe: Krasienin gm. Niemce, zabytkowa aleja lipowa, ocena kondycji drzew, tomograf dźwiękowy

Wstęp

Aleja, to forma roślinności drzewiastej, która od wieków, niezależnie od swojej budowy i składu gatunkowego spełnia istotną funkcję w organizacji przestrzeni. Kształtuje przestrzeń miejską, jak również jest ważnym elementem krajobrazu kulturowego. W wielu krajach aleje uznawane są za dzieła kompozycji krajobrazowych i ogrodowych oraz podlegają ochronie prawnej [Siewniak i in. 1991]. Wiele z nich nie przetrwało jednak w niezmienionej formie. O ich utrzymaniu i jak najdłuższym zachowaniu oryginalnej substancji zabytkowej, zdecydował właściwy sposób postępowania z materiałem roślinnym stanowiącym generację wyjściową. Wciąż aktualna jest tematyka ochrony starego drzewostanu, przy jednoczesnym ograniczeniu do minimum potencjalnego zagrożenia jakie stare drzewa stwarzają otoczeniu - bezpieczeństwo użytkowników, ochrona wyposażenia parku, cmentarza czy placu miejskiego [Siewniak 1988, Siewniak 1990, Szczepanowska 2001, Siewniak i Bobek 2010, Witkoś (red.) 2012]. Ważnym więc staje się wybór metody badawczej, która pozwoli na zachowanie cennych okazów. Do tej pory stosowane metody inwazyjne (np. świder Presslera) skutkowały infekcją zdrowego drewna, a więc zastępują je metody cechujące się minimalną ingerencją w wewnętrzne tkanki drewna. Należą do nich metody diagnostyczne wykorzystujące m.in. tomografię komputerową, np. elektryczną czy dźwiękową. Nieinwazyjne

techniki pozwalają na dokładne zobrazowanie sytuacji panującej na całej powierzchni przekroju poprzecznego pnia drzewa rosnącego, a w niektórych wypadkach wykrywania wczesnych etapów rozkładu drewna [Wilcox 1988, Nicolotti i in. 2003, Pokorny 2003, Gilbert i Smiley 2004, Bucur 2005, Luley 2005 Chomicz 2007]. Zapis graficzny dokładnie lokalizuje i określa wielkość defektu. Analiza tomogramu pozwala więc na diagnozowanie kondycji drzew, szczególnie starych, historycznych, które dla konserwatora przyrody, konserwatora zabytków są cenne i wymagają indywidualnych działań pielęgnacyjnych.

Przedmiotem przeprowadzonych badań jest ocena stanu zachowania alei dojazdowej prowadzącej do XIX wiecznego dworu w Krasieninie, łączącej dawny majątek z kościołem pod wezwaniem Najświętszej Maryi Panny. Obecnie aleja lipowa stanowi jezdny ciąg komunikacyjny pomiędzy miastami Lublin-Krasienin-Kierzkówka-Przytoczno. Nazywana jest „Aleją Królewską” i wraz z obiektem dworsko-parkowym znajduje się w rejestrze zabytków woj. lubelskiego pod nr A/612.

Materiał i metody

Badania przeprowadzono w latach 2013–2015. W 2013 roku wykonano szczegółową inwentaryzację dendrologiczną alei lipowej prowadzącej od południa do założenia dworsko-parkowego w Krasieninie. Miejscowość jest położona w gminie Niemce, w województwie lubelskim. Pomiary dotyczyły: wysokości drzew przy zastosowaniu dalmierza laserowego Nikon Forestry Pro, obwodu pnia (na wysokości 1,30 m) i zasięgu korony. Obliczono również prawdopodobny wiek roślin wykorzystując tabele wiekowe prof. L. Majdeckiego (1980–86). Aleja o długości 430 m, liczy 127 drzew. W 2015 roku zostały sporządzone szczegółowe ekspertyzy dendrologiczne 7 lip drobnolistnych rosnących w alei. Wykonano diagnozę tomograficzną oraz wizualną ocenę badanych roślin wykorzystując pięciostopniową metodę waloryzacji proponowaną przez Kraus-Galińską i in. [2008]:

- ++ stan bardzo dobry – zdrowe, dobrze wykształcone rośliny, brak widocznych ubytków, uszkodzeń i objawów chorób, roślina o wysokich wartościach przyrodniczo- krajobrazowych;
- + stan dobry – prawidłowo wykształcone rośliny, brak widocznych objawów chorobowych i uszkodzeń, duże wartości przyrodnicze i krajobrazowe;
- +/- stan zadowalający – rośliny zdeformowane, z niewielkimi objawami chorobowymi lub ubytkami, niewielkie wartości przyrodniczo-krajobrazowe;
- +-- stan niezadowalający – rośliny chore, zdeformowane, zagrażają ludziom, obiektom bądź cenniejszym gatunkom;
- stan zły – roślina silnie zdeformowana, bardzo chora, zagrażająca użytkownikom, obiektom i innym gatunkom, nie rokują poprawy.

Do oceny wewnętrznej struktury drewna w przekroju poprzecznym pnia wytypowanych lip drobnolistnych zastosowano urządzenie PICUS Sonic Tomograph niemieckiej firmy Argus Electronic GmbH. Przyrząd wykorzystuje prędkość rozchodzenia się fal dźwiękowych w drewnie, która zależy od jego gęstości i elastyczności. Urządzenie poprzez system czujników zapisuje czas przemieszczania się fal akustycznych, generowanych na każdym z punktów pomiarowych. Zdecydowana większość defektów wewnątrz pnia, zwłaszcza obecność zgnilizny, powoduje zmniejszenie zarówno gęstości, jak i elastyczności drewna, co skutkuje zmniejszeniem prędkości rozchodzenia się fal w miejscu uszkodzenia. Wyniki przeprowadzonego badania prezentuje tomogram - obraz graficzny ukazujący aktualną wewnętrzną strukturę przekroju poprzecznego pnia na badanej wysokości. Utworzony obraz zróżnicowany jest pod względem kolorystycznym, a pojawiające się barwy przedstawiają tzw. mapę gęstości drewna. Ta bezinwazyjna metoda pozwala na zaprezentowanie sytuacji panującej na całej powierzchni przekroju poprzecznego pnia rosnącego drzewa na wysokości pomiaru. W celu uzupełnienia danych tomograficznych obliczono również współczynnik wytrzymałości mechanicznej pnia (t/R), ale tylko dla tych drzew, u których stopień rozkładu drewna wewnątrz pnia obejmował powierzchnię większą niż zaznaczona minimalna grubość ścianki. Dokumentację fotograficzną wykonano aparatem NIKON D5300.

Wyniki

Opis drzewostanu alejowego

Obiekt będący przedmiotem opracowania stanowi układ alejowy utworzony ze 127 lip drobnolistnych, których wiek waha się od 71 do 150 lat. 59 drzew posiada wymiary pomnikowe, o obwodach przekraczających 300 cm na wys. 130 cm.

Ocena wartości dendrologicznej badanych drzew

Badaną aleję tworzą lipy drobnolistne (*Tilia cordata* Mill.). Są to stare drzewa z licznymi odrostami u podstawy pnia. Na szczególną uwagę zasługują okazy z nr inw. 68, 70, 83, 46, 56. Drzewa te znajdują się w najlepszej kondycji. U egzemplarzy z nr inw. 56, 70, 46, w pniu na wysokości około 4 m występują dziuple. Korony lip z nr inw. 62, 70, 72, 56, są mocno zredukowane. W niezadowolającym i złym stanie zdrowotnym są lipy nr inw. 62, 72, co widoczne jest na zewnątrz pnia w postaci zaawansowanego procesu próchnienia. Ponadto na egzemplarzach 72 i 56 zauważono owocniki grzybów: *Panellus stipticus* i *Pleurotus ostreatus* (Tabela 1).

Tabela 1. Skrócona inwentaryzacja i waloryzacja badanych lip drobnolistnych tworzących aleję dojazdową do dworu w Krasieninie (stan z 2015 r.).

Short inventory and valorization of respondents in July small-leaved forming an alley driveway to the mansion in Krasieninie (2015).

Lp.	Nr inw.	Nazwa łacińska	Obwód pnia na wys. 1,3 m [cm]	Zasięg korony [m]	Wysokość [m]	Waloryzacja	Uwagi i obserwacje
1.	62	<i>Tilia cordata</i>	391	13,6	16,7	+/--	Obdarta kora od strony drogi. Ścięty wierzchołek drzewa. Widoczne objawy próchnienia.
2.	68	<i>Tilia cordata</i>	355	14,5	18,7	+/-	Pień drzewa lekko pochylony w kierunku zachodnim, na wys. 4,5 m dziupla. Objawy próchnienia na pniu.
3.	70	<i>Tilia cordata</i>	365	15,6	24	+/-	Pień drzewa prosty z dziuplą. Na wys. 4 m postępujące wypróchnienie w miejscu cięcia. Korona mocno zredukowana
4.	72	<i>Tilia cordata</i>	470	11	15,5	-	Pień prosty, gałęzie pojawiają się już na wys. 1 m. Występują owocniki grzybów. Korona silnie zredukowana.
5.	83	<i>Tilia cordata</i>	334	12	20,5	+/-	Pień drzewa prosty. Widoczne próchniczne zmiany w miejscu po ściętym konarze drzewa
6.	46	<i>Tilia cordata</i>	394	11	13	+/-	Na wys. ok 3 m dziupla. Wierzchołek drzewa ścięty
7.	56	<i>Tilia cordata</i>	385	15	19,5	+/-	Na wysokości 110 cm pojawiają się już gałęzie. Występują owocniki grzybów. Korona mocno zredukowana

Analiza tomogramów badanych lip drobnolistnych

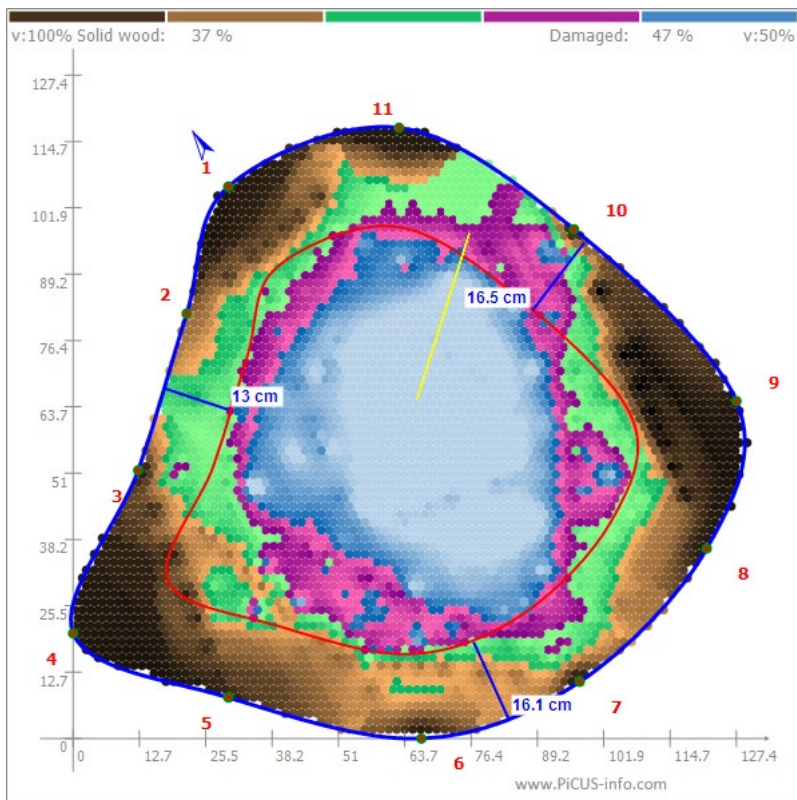
Badanie sonicznym tomografem dźwiękowym PICUS wybranych egzemplarzy lipy drobnolistnej, zostało wykonane na wysokości 1,3 m nad poziomem gruntu. Liczba założonych punktów pomiarowych wynosiła od 10 do 12 w zależności od zmierzonego obwodu pnia. W najlepszej kondycji są drzewa nr 83 i 70. Udział drewna sprawnego technicznie wynosi u pierwszej lipy 88% a u drugiej 77%. W najgorszym stanie zdrowotnym znajduje się drzewo nr 72, które posiada tylko 14% zdrowego drewna. U pozostałych egzemplarzy ich kondycja zdrowotna jest przeciętna, przy czym udział drewna sprawnego technicznie zawiera się w przedziale pomiędzy 37 a 42% (tab. 2).

Tabela 2. Wyniki struktury drewna w przekroju poprzecznym u badanych lip drobnolistnych (stan z 2015 r.).

Results of the wood structure in cross-section of the surveyed small-leaved July (as of 2015).

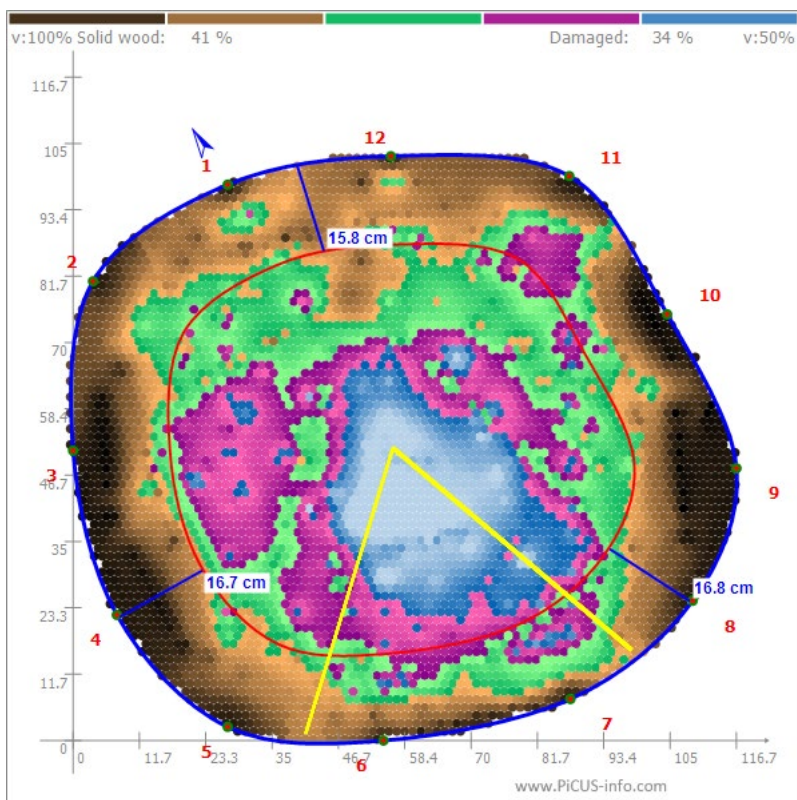
Lp.	Nr inw.	Nazwa łacińska	Poziom pomiaru (cm)	Liczba punktów pomiarowych	Punkty pomiarowe o największej prędkości dźwięku	Punkty pomiarowe o najmniejszej prędkości dźwięku	Drewno sprawne technicznie (%)	Drewno uszkodzone (%)	Współczynnik wytrzymałości mechanicznej pnia (t/R)
1.	62	<i>Tilia cordata</i>	130	11	2–1	5–10	37	47	0,24
2.	68	<i>Tilia cordata</i>	130	12	12–5	1–12	41	34	0,29
3.	70	<i>Tilia cordata</i>	130	11	5–3	7–1	77	12	–
4.	72	<i>Tilia cordata</i>	110	12	2–10	2–8	14	77	0,24
5.	83	<i>Tilia cordata</i>	130	10	9–5	7–6	88	–	–
6.	46	<i>Tilia cordata</i>	130	12	1–4	1–7	40	43	0,27
7.	56	<i>Tilia cordata</i>	100	11	6–4	8–3	42	46	0,28

Analizując poszczególne tomogramy daje się zauważyć dużą rozbieżność w jakości wewnętrznych struktur pnia badanych drzew. U lipy z nr inw. 62 procesy destrukcyjne wnętrza pnia mają zaawansowany przebieg. Cały centralny obszar jest zajęty przez drewno uszkodzone (47%) z wyraźnymi objawami próchnicy. Świadczy o tym barwa od jasnoniebieskiej do fioletowej (ryc. 1). Rozkład tkanek drewna postępuje w kierunku północnym i zachodnim. Obszar o osłabionej strukturze rozszerza się z kolei sukcesywnie po całym obwodzie i jest zaznaczony kolorem zielonym. Struktura drewna nie jest w tym przypadku jeszcze nadmiernie uszkodzona, ale wykazuje tendencję do nasilania się procesów destrukcyjnych. Obszar zdrowego drewna zajmuje na przekroju poprzecznym powierzchnię 37%. Średnia minimalna grubość ścianki wynosi 15,2 cm, ale osłabiająca się struktura drewna od strony zachodniej i północno-wschodniej może przyczynić się do powstania w przyszłości ubytków wgłębnych. Żółta linia określa możliwość wystąpienia w przyszłości pęknięć wewnątrz pnia w kierunku północno-wschodnim pod warunkiem intensywnego rozwoju procesów destrukcyjnych (ryc. 1). Wyliczony dla tego egzemplarza współczynnik t/R czyli stosunek grubości ściany zdrowego drewna do promienia pnia wynosi 0,24, co sugeruje bardzo duże osłabienie pnia drzewa spowodowane postępującymi procesami rozkładu ku zewnętrznyemu jego obszarom.



Ryc. 1. Tomogram przekroju poprzecznego pnia lipy drobnolistnej o nr inv. 62

Tomogram of the cross section of the trunk of small-leaved lime no. inv. 62

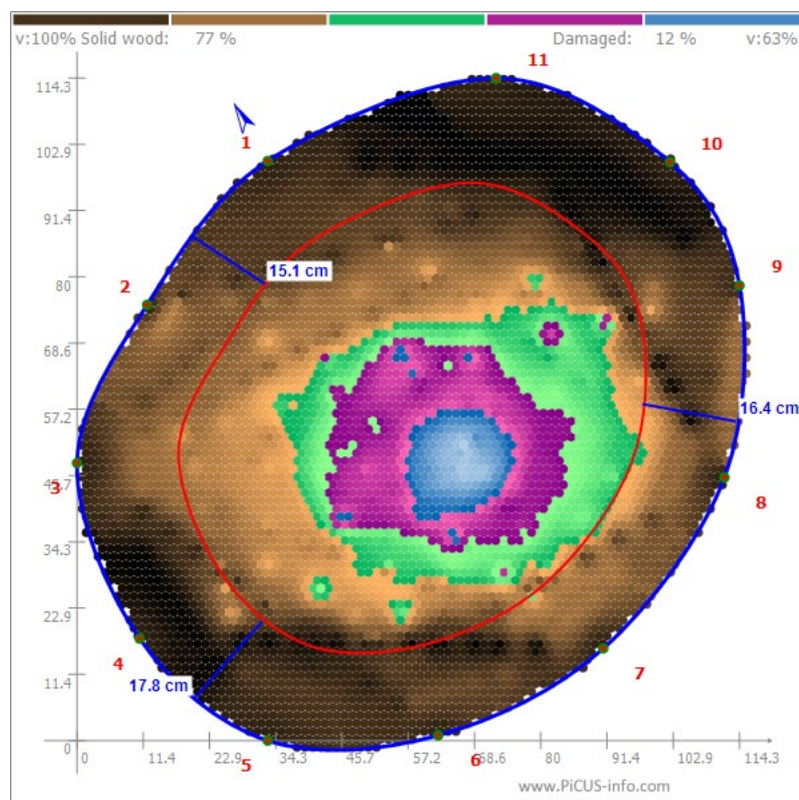


Ryc. 2. Tomogram przekroju poprzecznego pnia lipy drobnolistnej o nr inv. 68

Tomogram of the cross section of the trunk of small-leaved lime no. inv. 68

Lipa drobnolistna o nr inw. 68 charakteryzuje się podobnym układem procesów destrukcyjnych wnętrza pnia jak ww. egzemplarz. Najbardziej rozwinięty proces próchnienia zajmuje część rdzeniową pnia, rozprzestrzeniając się w kierunku południowym (ryc. 2). Drewno uszkodzone zajmuje powierzchnię 34% (tab. 2). Żółte linie uwzględnione na tomogramie pokazują kierunek wystąpienia możliwych pęknięć. Minimalna grubość ścianki, którą uznaje się za bezpieczną dla stabilności tego drzewa wynosi 16,4 cm a obliczony współczynnik t/R ma wartość 0,29. Na tomogramie zauważalne jest rozprzestrzenianie się infekcji poza bezpieczną granicę, przy czym barwa zielona sugeruje początki osłabienia sprawności technicznej wewnętrznych struktur drewna. Powierzchnia zajmowana przez drewno sprawne technicznie obejmuje w tym przypadku 41% przekroju poprzecznego pnia (ryc. 2).

Rycina 3 prezentuje graficzny wynik pomiaru przekroju poprzecznego pnia u drzewa z nr inw. 70. Zauważalny proces próchnienia obejmuje w największym stopniu środek pnia drzewa przy czym powierzchnia drewna uszkodzonego zajmuje jedynie 12% całego przekroju. Najbardziej uszkodzony fragment ma średnicę ok. 18 cm, a proces destrukcji drewna rozszerza się powoli po całym obwodzie pnia. Relatywnie badana lipa znajduje się jeszcze w dobrej kondycji, gdyż 77% zajmowanej powierzchni to drewno sprawne technicznie. Minimalna grubość ścianki gwarantująca bezpieczeństwo pnia pod względem mechanicznym wynosi 16,4 cm. W całym obszarze obejmującym bezpieczną grubość ścianki pnia drewno charakteryzuje się pełną wytrzymałością mechaniczną co jest reprezentowane na tomogramie przez barwę brązową (ryc. 3).

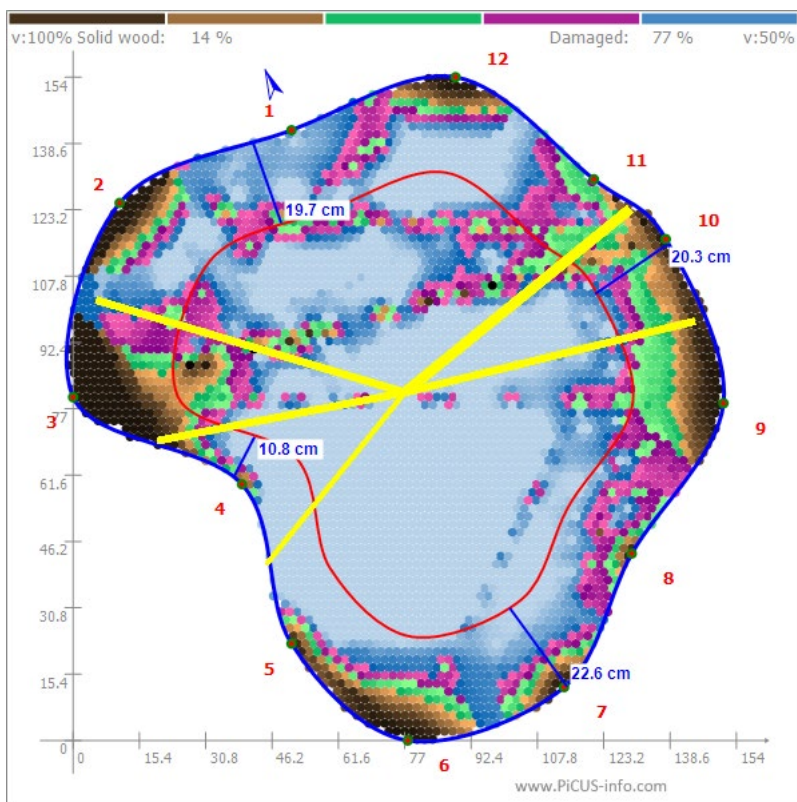


Ryc. 3. Tomogram przekroju poprzecznego pnia lipy drobnolistnej o nr inw. 70.

Tomogram of the cross section of the trunk of small-leaved lime no. inv. 70.

Lipa drobnolistna o nr inw. 72 charakteryzuje się najbardziej zaawansowanym stopniem rozkładu wewnętrznych struktur drewna. Praktycznie prawie 80 % obszaru zajmuje drewno uszkodzone (tab. 2). Zamieszczony poniżej tomogram przedstawia tylko niewielkie fragmenty zdrowej tkanki, którą można określić mianem drewna sprawnego technicznie. Są one rozmieszczone głównie po stronie: zachodniej i wschodniej pnia. Szczątkowe obszary zdrowej tkanki są rozlokowane w części północnej i południowej przekroju poprzecznego pnia. Drewno zdrowe zajmuje obszar jedynie 14%. Bardzo wyraźnie zaznaczono możliwość wystąpienia promienistych pęknięć, głównie w kierunku wschód-zachód. Minimalna grubość ścianki wyniosła w tym przypadku 18,3 cm ale wyliczony współczynnik t/R ma wartość tylko 0,24 (ryc. 4). W związku z bardzo złym stanem zdrowotnym tego drzewa, ze względów bezpieczeństwa sugerowane jest jego usunięcie, tym bardziej, że rośnie ono w bliskiej

odległości od granicy jezdni. Dodatkowym czynnikiem przemawiającym za słabą kondycją zdrowotną badanej lipy są widoczne na pniu owocniki grzybów najprawdopodobniej z rodzaju *Panellus* świadczące o zaawansowanym procesie próchnienia (Ryc. 5).



Ryc. 4. Tomogram przekroju poprzecznego pnia lipy drobnolistnej o nr inw. 72.

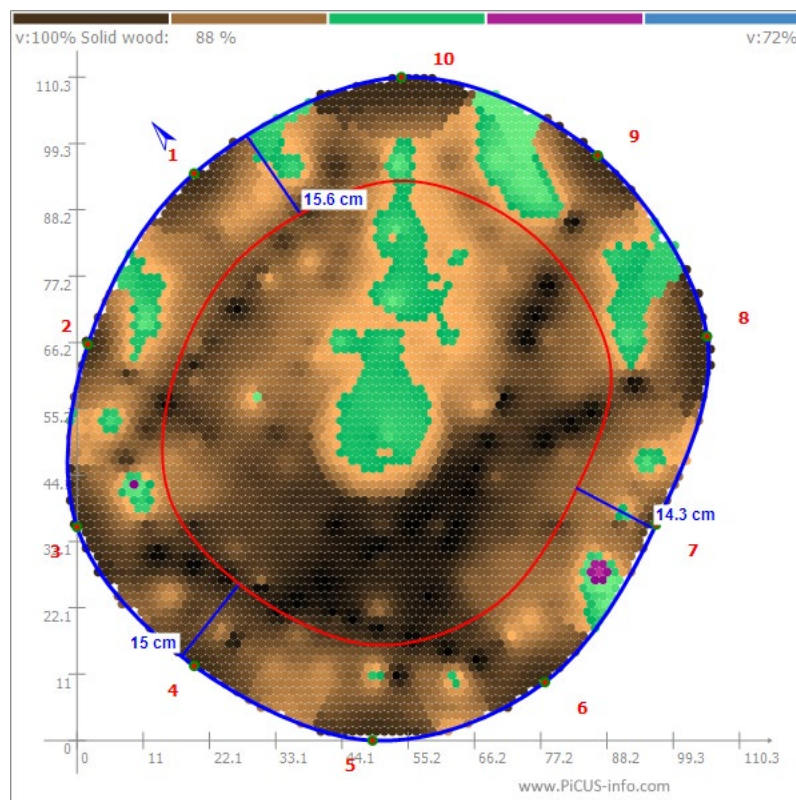
Tomogram of the cross section of the trunk of small-leaved lime no. inv. 72.



Ryc. 5. Owocniki grzybów z rodzaju *Panellus* na pniu lipy drobnolistnej o nr inw. 72 (fot. W. Durlak, 2015 r.)

The fruiting bodies of fungi of the genus *Panellus* on the trunk of small-leaved lime no. inv. 72 (by W. Durlak, 2015).

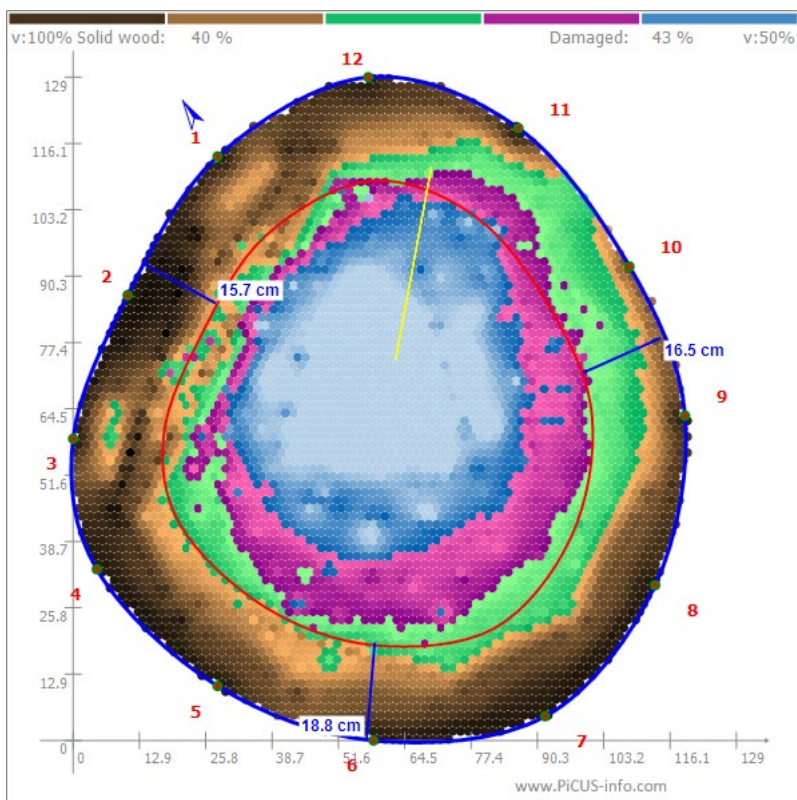
Tomogram przedstawiający przekrój poprzeczny wnętrza pnia lipy o nr inw. 83 podkreśla dobrą jakość struktur wewnętrznych drewna tego drzewa. Drewno sprawne technicznie zajmuje 88% powierzchni przekroju. Nie wielkie rejonry oznaczone barwą zieloną rozrzucone na tym przekroju sugerują nieco słabszą strukturę drewna w tym obszarze. Nie zmienia to jednak ogólnej oceny co do zdrowotności całego drzewa. Lipa ta w porównaniu z innymi badanymi egzemplarzami charakteryzuje się najlepszą kondycją zdrowotną. Wyliczona programowo minimalna grubość ścianki uznana za bezpieczną wynosi 14,9 cm. Obrazując otrzymany tomogram, uwagę zwraca jeszcze minimalny fragment drewna o obniżonej wytrzymałości mający w przybliżeniu średnicę ok. 4 cm, który jest zlokalizowany w części południowo-wschodniej przekroju pnia (ryc. 6). Nie ma on jednak istotnego wpływu na stan zdrowotny pozostałych struktur drewna. Być może w przyszłości stanie się on przyczynkiem do początku rozkładu drewna. Na chwilę obecną zmiana ta nie jest postrzegana jako potencjalne zagrożenie.



Ryc. 6. Tomogram przekroju poprzecznego pnia lipy drobnolistnej o nr inw. 83.

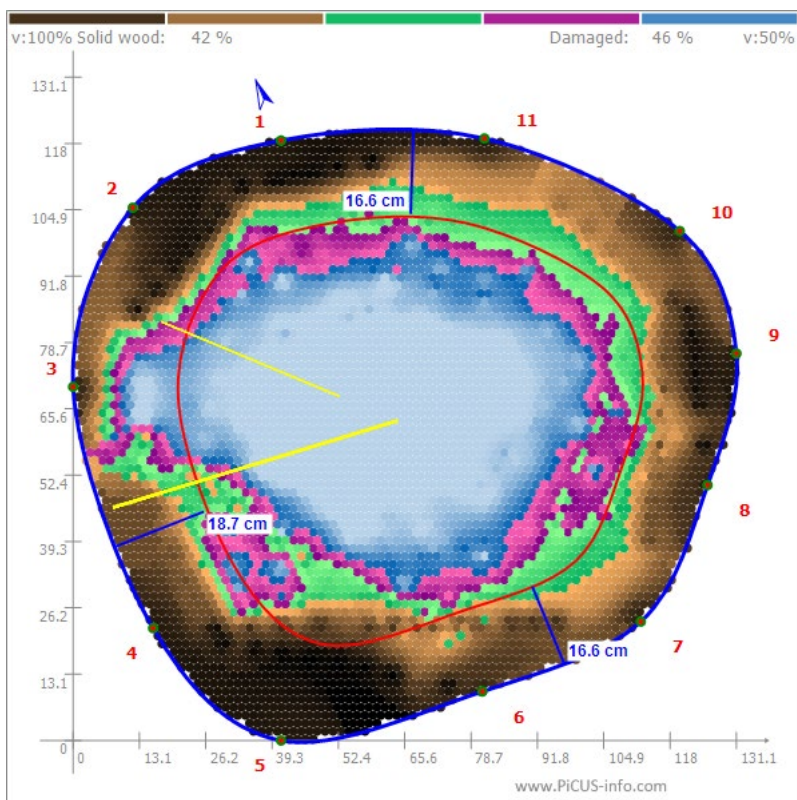
Tomogram of the cross section of the trunk of small-leaved lime no. inv. 83.

Kolejna lipa drobnolistna o nr inw. 46 charakteryzuje się znacznymi zmianami strukturalnymi wnętrza pnia (ryc. 6). Badanie wykonane tomografem sonicznym uwidocznilo bardzo duży obszar zajmowany przez drewno uszkodzone znajdujące się w centralnej części przekroju pnia. Zakres widocznych na tomogramie, negatywnych dla stanu zdrowotnego drzewa zmian, zajmuje powierzchnię 43%. Drewno sprawne technicznie obejmuje natomiast 40% przekroju poprzecznego pnia. Zauważalne procesy destrukcyjne drewna rozszerzają się w kierunku południowo-wschodnim. Drewno, które znajduje się w fazie przejściowej, a więc nie jest drewnem w pełni sprawnym technicznie, ale nie jest też drewnem uszkodzonym znajduje się w większości w strefie wschodniej (kolor zielony na tomogramie). Drewno najbardziej sprawne technicznie znajduje się w zewnętrznych warstwach przekroju pnia. Wyliczona grubość ścianki uznanej za bezpieczną wyniosła w tym przypadku nieco ponad 17 cm a współczynnik t/R miał wartość 0,27. Sugerowaną możliwość wystąpienia pęknięć zaznaczono na tomogramie żółtą linią (ryc. 7).



Ryc. 7. Tomogram przekroju poprzecznego pnia lipy drobnolistnej o nr inv. 46.

Tomogram cross-section of the trunk of small-leaved lime no. inv. 46.



Ryc. 8. Tomogram przekroju poprzecznego pnia lipy drobnolistnej o nr inv. 56.

Tomogram of the cross section of the trunk of small-leaved lime no. inv. 56.

Lipa drobnolistna o nr inw. 56 charakteryzuje się znacznym rozkładem drewna w centralnej części pnia drzewa. Wypróchnienie postępuje w kierunku zachodnim a największy obszar uszkodzonego drewna zajmuje powierzchnię 46%. Odcienie koloru niebieskiego są dominujące co świadczy o postępującym procesie destrukcji wpływającym bardzo niekorzystnie na stan zdrowotny drzewa. Obszar zajmowany przez drewno sprawne technicznie obejmuje powierzchnię 42% a wyliczona minimalna grubość ścianki gwarantująca bezpieczeństwo to 17,3 cm. Współczynnik t/R dla tej lipy wynosi 0,28. Najzdrowsze fragmenty drewna zaznaczone na przekroju poprzecznym pnia znajdują się w jego części południowej i północno zachodniej. Sugerowane żółtymi liniami pęknięcia mogą wystąpić w miejscu najbardziej osłabionym, czyli po stronie zachodniej pnia, gdzie jednocześnie w wyniku postępującego rozkładu drewna może pojawić się w przyszłości ubytek wgłębny otwarty (ryc. 8). Na pniu występują liczne zgrupowania owocników grzybów z rodzaju *Pleurotus* co może świadczyć o rozwijającej się intensywnie infekcji grzybowej wewnątrz pnia przyspieszając jednocześnie proces destrukcji wewnętrznych struktur drewna (ryc. 9).



Ryc. 9. Owocniki grzybów z rodzaju *Pleurotus* na pniu lipy drobnolistnej o nr inw. 56. (fot. W. Durlak, 2015 r.)

The fruiting bodies of fungi of the genus *Pleurotus* on the trunk of small-leaved lime no. inv. 56. (by W. Durlak, 2015)

Dyskusja

Metody diagnostyczne wykorzystujące tomografię komputerową do oceny stanu zdrowotnego drzew należą w chwili obecnej do nowatorskich technik badawczych, które w sposób bezinwazyjny umożliwiają właściwą analizę wnętrza pni drzew. Tomografia akustyczna pozwala na wykrywanie wszelkiego rodzaju infekcji grzybowych rozwijających się wewnątrz pnia, które niemonitorowane mogą doprowadzić do szybkiego rozpadu drewna i tym samym stanowić zagrożenie spowodowane przez drzewo dla otoczenia. Metoda ta, oprócz identyfikacji rozwijających się infekcji grzybowych pozwala również na wykrywanie wszelkiego rodzaju uszkodzeń, pustek - ubytków wgłębnych oraz wad pni niewidocznych z zewnątrz [Wang i in. 2007, Wang i Allison 2008, Deflorio i in. 2008, Kazemi-Najafi i in. 2009, Chomicz 2010, Brazee i in. 2011].

Dużą zaletą tomografii dźwiękowej jest możliwość badania starodrzewu np.: drzew o wymiarach pomnikowych, drzew ujętych w rejestrze pomników przyrody lub tych, które znajdują się w fazie senilnej i mają osłabione siły witalne. Ten sposób oceny drzew uzupełnia metody inwazyjne, które mogą wpływać negatywnie na ich żywotność, bądź nawet pogłębić toczące się wewnątrz pnia procesy infekcyjne. Ponadto metody inwazyjne

nie dają często wyczerpujących informacji o stanie wnętrza pnia, głównie ze względu na ograniczenia związane z miejscem wykonania pomiaru. W celu uzyskania pełnej diagnozy należałoby wykonać kilka lub kilkanaście odwiertów (świder Presslera, rezystograf). Tomograf dźwiękowy nie wymaga nawiercania pnia a więc naruszenia bariery ochronnej, jaką drzewo tworzy, aby ograniczyć i spowolnić rozprzestrzenianie się próchnicy [Kersten i Schwarze 2005]. Umożliwia natomiast uzyskanie bardzo precyzyjnych informacji już przy pierwszym pomiarze na całym obwodzie pnia bez ingerencji w jego wewnętrzne struktury co stawia skuteczność tej metody na bardzo wysokim poziomie [Gilbert i Smiley 2004].

Metoda ta pozwala również na ustalenie progów niebezpiecznej utraty wytrzymałości mechanicznej pnia określanego przez tzw. współczynnik t/R (stosunek grubości zdrowego drewna – t do promienia pnia drzewa – R). Za bezpieczną wartość uznaje się poziom większy niż 0,3 [Mattheck i in. 2015]. Liczne badania wskazują, że niższa od granicznej wartość współczynnika t/R przy zamkniętych ubytkach u drzew z pełną koroną, może powodować zwiększone ryzyko złamania pnia [Suchocka 2012]. Na taką postać rzeczy ma wpływ wiele innych czynników, m.in.: wysokość drzewa, jego ekspozycja na wiatr, umiejscowienie środka ciężkości, usytuowanie oraz gatunek [Bond 2006].

Wprawdzie Suchocka [2012] podaje, że współczynnik t/R nie ma zastosowania u drzew o średnicach pni większych niż 90 cm to jednak w przypadku badanych lip, obliczony współczynnik zawierał się w zakresie od 0,24 do 0,28, co wskazywałoby na potrzebę monitorowania statyki drzew. Udokumentowane występowanie grzybów z rodzaju *Panellus* i *Pleurotus* na pniach badanych lip drobnolistnych tym bardziej skłania do wnikliwej obserwacji ocenianych drzew.

Podczas przeprowadzonych pomiarów na wybranych drzewach rosnących w układzie alejowym w Krasiecinie wykazano przydatność stosowanej metody do oceny diagnostycznej ich stanu zdrowotnego. W wyniku analizy prędkości rozchodzenia się dźwięku wewnątrz pnia uzyskano bardzo precyzyjne dane w formie graficznej obrazujące rozkład uszkodzeń lub początków infekcji drewna. Potwierdzeniem otrzymanych wyników są badania prowadzone m.in. przez Rabego i in. [2004] czy Wanga i Allisona [2008], w których autorzy wskazują, że stosowanie tomografii akustycznej u gatunków liściastych pozwala na dosyć dokładne określenie zakresu i umiejscowienia destrukcji wewnętrznych struktur pnia co z kolei umożliwia podjęcie właściwych decyzji dotyczących dalszego postępowania z badanym drzewem.

Istotny wpływ na rozdzielczość obrazu graficznego wnętrza pnia ma rozlokowanie właściwej liczby sensorów. Ich liczba zależy od obwodu mierzonego pnia. Chomicz [2007] zaleca stosowanie zwykle od 8 do 12 przy zachowaniu odległości pomiędzy nimi od 12 do 50 cm [Göcke i in. 2007, http 1]. W przeprowadzonych badaniach stosowano od 10 do 12 sensorów co pozwoliło na uzyskanie precyzyjnych obrazów.

Tomografia dźwiękowa znajduje zastosowanie nie tylko w gospodarce leśnej, gdzie na podstawie otrzymanych wyników można dokonać selekcji drzew z rozwijającą się próchnicą rdzeniową [Kazemi-Najafi i in. 2009, Brazee i in. 2011], ale również do badania drzew z defektami niewidocznymi gołym okiem spowodowanymi różnymi czynnikami a rosnących w przestrzeniach publicznych [Wang i in. 2007, Wang i Allison 2008]. Diagnostyka tomograficzna może mieć również duże znaczenie w ocenie stanu zdrowotnego drzew cennych, starych lub będących pomnikami przyrody co przekłada się na ich lepszą pielęgnację i zachowanie dla przyszłych pokoleń.

Wnioski

1. Metoda badawcza z wykorzystaniem tomografii dźwiękowej jest skutecznym narzędziem do bezinwazyjnego diagnozowania stanu zdrowotnego drzew, która pozwala na wykrycie i określenie zasięgu rozkładu wewnętrznych struktur pnia drzewa.
2. W najlepszej kondycji zdrowotnej spośród badanych drzew tworzących zabytkową aleję są dwie lipy o nr inw. 70 i 83, w których udział drewna sprawnego technicznie wynosił 77 i 88 %. Najstabszą kondycją charakteryzowała się jedna lipa (nr inw. 72), u której zdiagnozowano tylko 14 % zdrowego drewna.
3. Większość z ocenianych drzew charakteryzuje się współczynnikiem wytrzymałości mechanicznej pnia (t/R) poniżej wartości granicznej co jednoznacznie nie wskazuje na ich złą kondycję.
4. Ze względów bezpieczeństwa i z uwagi na duże zagrożenie upadkiem lipa drobnolistna nr 72 powinna być zdjęta z rejestru pomników przyrody i usunięta.

Piśmiennictwo

- [1] Bond J. 2006. Foundations of the tree risk analysis: Use of the t/R ratio to Evaluate Trunk Failure Potential: 31–34. Arborist News ISA http://www.urbanforestanalytics.com/sites/default/files/pdf/bond_tR.pdf
- [2] Brazeo N. J., Marra R. E., Göcke L., Van Wassenaeer P. 2011. Non-destructive assessment of internal decay in three hardwood species of northeastern North America using sonic and electrical impedance tomography. *Forestry* 84(1): 33–39.
- [3] Bucur V. 2005. Ultrasonic techniques for nondestructive testing of standing trees. *Ultrasonics* 43:237–239.
- [4] Chomicz E. 2007. Bezinwazyjne metody wykrywania defektów wewnątrz pni drzew stojących (Tomograf PiCUS® Sonic i PiCUS® TreeTronic). *Leśne Prace Badawcze* 3: 117–121.
- [5] Chomicz E. 2010. Bezinwazyjne diagnozowanie kondycji drzew zabytkowych z zastosowaniem tomografów PiCUS®. *Kurier Konserwatorski* 8: 29–32.
- [6] 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.
- [7] Gilbert E.A., Smiley E.T. 2004. Picus Sonic Tomography for the quantification of decay in white oak (*Quercus alba*) and hickory (*Carya* spp.). *Journal of Arboriculture* 30(5): 277–281.
- [8] Göcke L., Rust S., Weihs U., Günther T., Rücker C. 2007. Combining sonic and electrical impedance tomography for the nondestructive testing of trees. *Proceedings of the 15th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood: September 10–12, Duluth, Minnesota, USA: 31–42*
- [9] Kazemi-Najafi S., Shalabafan A., Ebrahimi G. 2009. Internal decay assessment in standing beech trees using ultrasonic velocity measurement. *Eur. J. Forest Res.* 128: 345–350.
- [10] Kersten, W., Schwarze F.W.M.R. 2005. Development of decay in the sapwood of trees wounded by the use of decay detecting devices. *Arboricultural Journal* 28:165–181.
- [11] Kraus-Galińska B, Rojek A. K, Wojnarowska M., 2008. Inwentaryzacja zieleni z waloryzacją. Teren sportowo – rekreacyjny Dzielniczy Rembertów Warszawa ul. Czwartaków Działka nr ew. 13/13–09–10. ABIES.: 12- 13.
- [12] Luley C.L. 2005. Wood decay fungi common to living urban trees in the northeast and central United States. Urban Forestry LLC, Naples, NY.
- [13] Majdecki L., 1980– 1986. Tabela wiekowa drzew. Rkps, Oddział Architektury Krajobrazu SGGW, Warszawa
- [14] Mattheck C., Bethge K., Weber K. 2015. The Body Language of Trees. *Encyclopedia of Visual Tree Assessment*. Karlsruhe Institute of Technology –Campus North: 404–405.
- [15] Nicolotti G., Socco L.V., Martinis R., Godio A. Sambuelli L. 2003. Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees. *Journal of Arboriculture* 29: 66–77.
- [16] Pokorny J. 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.
- [17] Rabe C. Ferner D., Fink S., Schwarze F. W. M. R. 2004. Detection of decay in trees with stress waves and interpretation of acoustic tomograms. *Arboric. J.* 28: 3–19.
- [18] Siewniak M. 1988. Ochrona drzew pomnikowych Komunikaty Dendrologiczne 7: 1–15.
- [19] Siewniak M., 1990. Gospodarka drzewostanem w założeniach parkowo-ogrodowych Komunikaty Dendrologiczne 16: 4–14.
- [20] Siewniak M., Bobek W. 2010. Zagrożenie ludzi i mienia w parkach, metody określania stanu statycznego drzew. *Kurier Konserwatorski* 8: 13–17.
- [21] Siewniak M., Bobek W. 2010. Aleje historyczne – dobre przykłady: Aleja 3 Maja w Krakowie i Aleja NMP w Częstochowie. *Kurier Konserwatorski* 8:5–12.
- [22] Siewniak M., Siewniak M., Banzhaf A. 1991. Problemy rekonstrukcji alei w ogrodach zabytkowych na przykładzie centralnej alei w Mosznej: 3–5.
- [23] Suchocka M. 2012. Zalety i ograniczenia stosowania wizualnej metody oceny drzew (VTA) jako odpowiedź na problemy związane z zagrożeniami powodowanymi przez drzewa miejskie. *Człowiek i Środowisko* 36 (1–2): 97–110.
- [24] Szczepanowska 2001. *Drzewa w mieście*. Hortpress Sp. z o.o, Warszawa.
- [25] Szczepanowska H.B., Szmigieli-Franz A., Tyszek-Chmielowiec P., Witkoś K., Ziemiańska M., 2012. Aleje. Podręcznik użytkownika jak dbać o drzewa, żeby nam służyły? *Drogi dla natury*. Wrocław: 9–10, 146
- [26] Wang X., Allison R.B. 2008. Decay detection in red oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling. *Arboriculture & Urban Forestry* 34(1): 1–4.
- [27] Wang X., Allison R.B. Wang L., Ross R.J. 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.

- [28] Wilcox W. W. 1988. Detection of early stages of wood decay with ultrasonic pulse velocity. For. Pro. J. 38: 5.
- [29] Witkoś K. (red.) 2012. Aleje – podręcznik użytkownika. Jak dbać o drzewa, żeby nam służyły? Fundacja EkoRozwoju, Wrocław.

Inne źródła

http 1. PICUS Sonic Tomograph. Manual Program version Q72-Q73. <http://www.argus-electronic.de/en/tree-inspection/support/pdf-archive/picus-sonic-tomograph-manual-of-pc-software-q72-q73> dostęp 16.01.2017 r.

Diagnosing the condition of the trees computed tomography in Historic LINDEN avenue in Krasienin (Lublin province)

Summary: The aim of the study is to assess the condition of selected trees in the old linden avenue in Krasienin, which is the access road to the nineteenth-century classicist manor house of Mrozewiczów. Linden alley determines the main axis of the assumptions and with the object. Manor park is entered in the register of monuments lubelskie province. Assessment of linden was based on the external appearance of the trees, and using the device Picus Sonic Tomograph allows to precisely determine the quality of a copy of the structure of wood in the tested cross-section. The results show that the state of health of trees selected for evaluation in the historic avenue of lime is varied. Most of July is characterized by reduced health condition. Computed tomographic images showed that more than half of the trees involved wood completely technically operable ranges from 37 to 42% and the minimum wall thickness is more than 15 cm. This does not mean, however, that the trees can be considered safe in terms of stability (mechanical strength). To a large extent this depends on the degree of decomposition of the wood inside the trunk and the method of its location. On the two specimens was observed fruiting bodies of fungi: *Panellus stipticus* and *Pleurotus ostreatus*. The worst condition is lime with inv. 72, which has a residual amount of wood is fully operational and copy threatening traffic safety. It is recommended its removal.

Keywords: Krasienin Niemce commune, linden avenue, assessment of the condition of trees, sound tomograph