

MOŻLIWOŚCI I OGRANICZENIA DIAGNOZOWANIA INSTRUMENTALNEGO W BADANIACH STATYKI DRZEW – CZĘŚĆ 2

Marzena Suchocka¹, Marcin Kolasiński²

¹ Katedra Architektury Krajobrazu, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 161, 02-787 Warszawa

² Katedra Dendrologii, Sadownictwa i Szkółkarstwa, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

* Autor do korespondencji: marzena.suchocka@interia.pl

STRESZCZENIE

W artykule omówiono zaawansowane metody diagnostyczne, czynniki wpływające na statykę drzew oraz sposoby minimalizowania ryzyka w ich otoczeniu. Przedstawiono zaawansowane metody instrumentalne dla celów oceny statyki drzew. Pokazano przykłady z praktyki, a także zaprezentowano światowe wyniki badań w tej dziedzinie. Omówiono stosowanie takich urządzeń jak: tomograf, zintegrowany pomiar statyki – pulling test oraz DynaRoot system. Uzyskane wyniki zaprezentowano w odniesieniu do przykładowych drzew i wykazano skutki prawidłowej i błędnej ich interpretacji. Wykonanie prawidłowej oceny drzew z zastosowaniem zaawansowanych metod diagnostycznych jest możliwe przez doświadczonego specjalistę.

Słowa kluczowe: statyka drzew, tomograf, pulling test (SIM), DynaRoot

OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS OF INSTRUMENTAL DIAGNOSIS IN TREES STATICS ASSESSMENT – PART 2

ABSTRACT

It discusses advanced diagnostic methods and factors affecting tree statics and ways to minimize risk in their environment. The work was based on many years of experience of the authors in the diagnosis of trees. It was supported by examples from practice and also presented research in this field in the world. The use of devices such as: Tomograph, Tree Radar, Integrated Static Integrated Measurement (SIM) - pulling test and DynaRoot system. For each of the methods, the results obtained in relation to real cases of trees were presented and the results of correct and incorrect interpretation of them were demonstrated. The correct assessment of trees using advanced diagnostic methods could be done by an experienced specialist.

Keywords: risk assessment, tomograf, tree radar, pulling test (SIM), DynaRoot

WSTĘP

W diagnostyce drzew wykorzystywane są coraz bardziej skomplikowane sprzęty i oprogramowania (Hayes 2002). Poniżej przedstawiono krótki opis specjalistycznych urządzeń.

Tomograf soniczny działa na podobnej zasadzie co młotek elektryczny, różnicą jest zwiększona liczba czujników. Pozwala to na ocenę lokalizacji i rozległości ubytków w pniu a symulacja komputerowa umożliwia uzyskanie ob-

razu wnętrza drzewa [Chomicz 2007, Nicolotti i Miglietta 1998].

TreeRadar urządzenie dostępne na rynku od 2005 r., zostało opracowane w USA przez Mucciardi. Stosuje się go jako bezinwazyjną metodę oceny drzew. Urządzenie umożliwia analizę wnętrza pnia z wyróżnieniem obszarów objętych zgnilizną. Za pomocą specjalnego wózka z umieszczonym radarem można otrzymać obraz podziemnego przebiegu korzeni, zasięg obrazu sięga do 1 m głębokości (www.treeradar.com).

Kolejną metodą jest zintegrowany pomiar statyki formalnie zwany SIM (Static Integrated Measurement), popularnie nazywany również Elasto-Inclino. Metoda opatentowana została w 1989 r. przez Wessollego, zaliczana jest do grupy metod bezinwazyjnych. Określa ona stabilność drzewa w gruncie oraz wytrzymałość pnia drzewa na złamanie. Podstawą tej metody jest poddanie drzewa obciążeniu symulującemu działanie wiatrów, nie przekraczającemu jednak 3% siły huraganu. Metoda Elasto bada wytrzymałość pnia na złamanie, a metoda Inclino jego stabilność w gruncie. Następnie wyznaczane są takie parametry jak: S_g – wytrzymałość podstawowa, S_b – aktualna wytrzymałość na złamanie oraz S_k – stabilność drzewa w gruncie. Została ona dopracowana i zweryfikowana na grupie liczącej ponad 10 tys. drzew. Zbiór danych określający właściwości statyczne gatunków zwany również Stuttgardzkim Katalogiem Wytrzymałości oraz program komputerowy służący do interpretacji wyników są ciągle aktualizowane [Wessolly i Erb 1998].

Dyna ROOT – polega na wyznaczeniu współczynnika bezpieczeństwa badanego drzewa na podstawie reakcji korzeni i odziomka na rzeczywiste obciążenie wiatrem. Przy wykorzystaniu rzeczywistego wiatru nie ma konieczności wykonywania obliczeń, które uwzględniają powierzchnie korony i inne właściwości badanego drzewa, ponieważ pomiary już je uwzględniają. Najniższa prędkość wiatru, która potrzebna jest do badań, to 25 km/h (8 m/s) [Divos i Szalai 2002].

W artykule przedstawiono zaawansowane narzędzia i metody diagnostyczne oceny statyki drzew, wykorzystujące specjalistyczne oprogramowanie do interpretacji uzyskanych danych. Omówiono stosowanie takich urządzeń jak: Tomograf, Zintegrowany pomiar statyki Static Integrated Measurement (SIM) – pulling test oraz Dyna-Root system. Dla każdej z metod zaprezentowano wyniki oceny uzyskane dla przykładowych drzew oraz wykazano skutki prawidłowej i błędnej ich interpretacji. Przedstawiono zalety oraz ograniczenia stosowanych metod oraz ich przydatność do celów zarządzania drzewostanem miejskim.

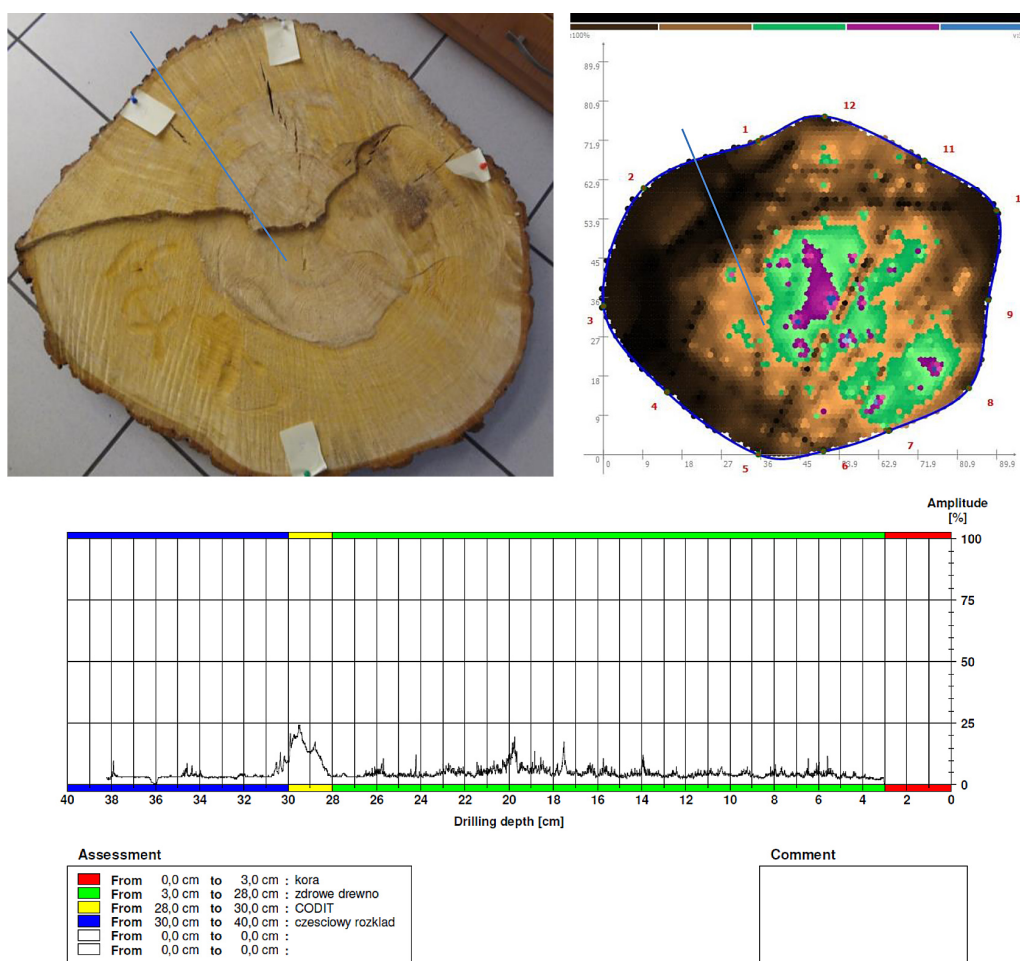
METODY DIAGNOSTYKI DRZEW

Tomografia akustyczna to badanie wykorzystujące fale dźwiękowe do uzyskania cyfrowej mapy gęstości drewna (tomogramu) w

żyjących drzewach. Polega na wprowadzeniu na danym poziomie pnia ultradźwięków i pomiarze czasu ich przemieszczania do poszczególnych punktów w płaszczyźnie. W zależności od prędkości przejścia dźwięku przez drewno można określić wewnętrzną budowę pnia bez konieczności naruszania żywego materiału [Chomicz 2007, Nicolotti i Miglietta 1998]. Tomografia wykorzystuje tomograf akustyczny, który składa się z czujników piezoelektrycznych (do dwunastu sztuk w zależności od firmy i modelu), wzmacniaczy, młotka stalowego i akumulatora wraz z okablowaniem. Potrzebne jest też oprogramowanie do danego sprzętu dostępne na komputer (niektóre sprzęty mają też oprogramowanie dostępne dla systemu Android). W trakcie wykonywania badań do tej pracy wykorzystano sprzęt ArborSonic 3D firmy Fakopp Bt, zawierający dwanaście czujników oraz Picus. Czujniki należy wbić w korę drzewa tak, by dotarły do drewna. Następnie wykonuje się badanie poprzez kilkukrotne uderzenie młotkiem w czujniki. Oprogramowanie w komputerze lub telefonie komórkowym zbiera informacje na bieżąco. W oprogramowaniu wprowadza się też inne informacje o drzewie: gatunek, obwód w miejscu pomiaru, wysokość miejsca pomiaru, ustawienie czujników (w przypadku nieregularnego kształtu przekroju pnia pomiar wykonuje się klupą). Należy też wykonać zdjęcie całego pokroju badanego drzewa [Arborsonic 3D: User's Manual, 2017].

Wynikiem badania jest tomogram – graficzne przedstawienie wyniku pomiaru (rys. 1), inaczej zwanym mapą gęstości drewna. Przedstawia wewnętrzną strukturę pnia i pozwala na określenie stopnia rozkładu drewna na danej wysokości [Chomicz 2007].

Oprogramowanie ArborSonic 3D ma możliwość wyliczenia stopnia prawdopodobieństwa złamania drzewa w pniu (współczynnik bezpieczeństwa) w miejscu pomiaru. Program wylicza współczynnik bezpieczeństwa dla każdego przebadanego przekroju poprzecznego pnia oraz pokazuje jakie wiatry są najgroźniejsze dla stabilności danego drzewa (ryc. 2). Współczynnik bezpieczeństwa w tomografii akustycznej wyliczany jest w procentach. Im wyższy procent tym mniejsze zagrożenie. Powyżej 150% zagrożenie złamaniem jest niskie, pomiędzy 100% a 150% zagrożenie jest średnie, a pomiędzy 100% a 50% zagrożenie jest wysokie, poniżej 50% zagrożenie jest ekstremalne [Arborsonic 3D: User's Manual, 2017].



Rys. 1. Porównanie wyniku badania rezystografem IML F400 i tomografem Picus. Na zdjęciu i tomogramie zaznaczony jest kierunek badania rezystografem

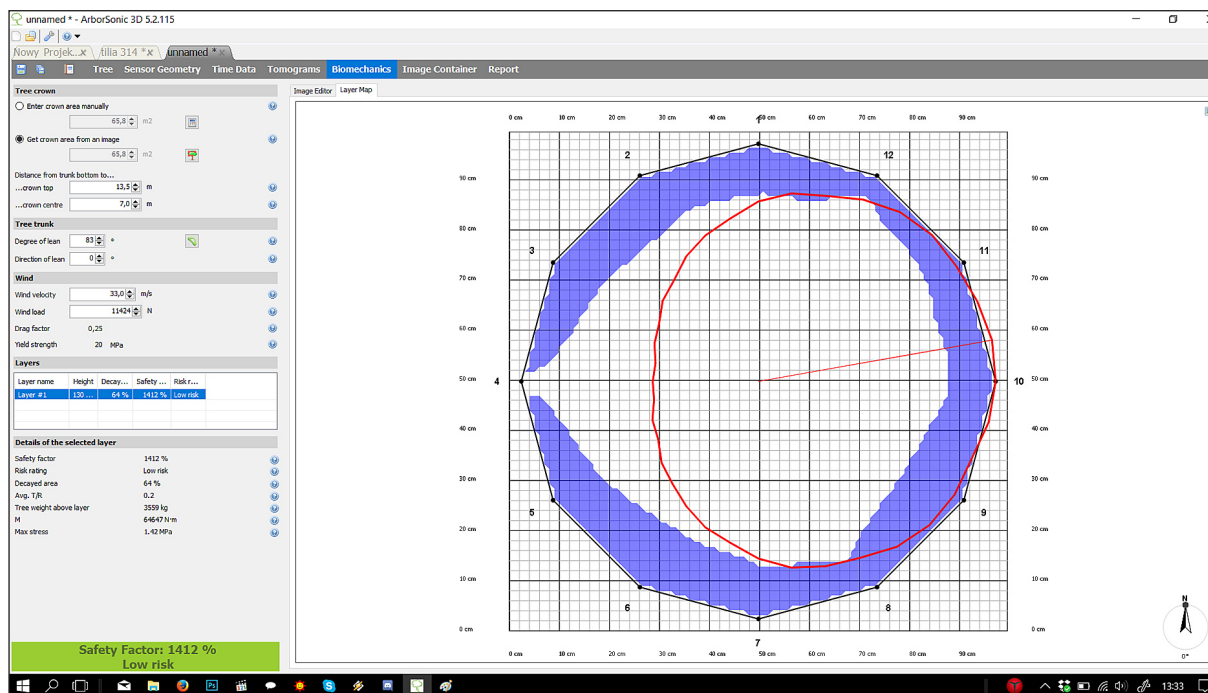
Zalety tomografii akustycznej. Tomografia akustyczna przy wykorzystaniu ArborSonic 3D uzyskuje dokładność wyników około 84% i pokazuje wewnętrzną strukturę pnia bez naruszania i niszczenia żywego drewna. Pokazuje lokalizację i wielkość ubytków i rozkładu [Ostrovský i in. 2017]. Badanie jest szybkie, może je wykonać jedna osoba wraz z instalacją sprzętu na drzewie. Sprzęt mieści w jednej walizce. Dodatkowo przy użyciu średnicomierza można badać drzewa o nieregularnych przekrojach pnia jak i te o dużych średnicach.

Wady tomografii akustycznej. Mogą pojawić się problemy interpretacji danych. Rozkład i pęknięcie w pniu, dwa defekty o różnym znaczeniu dla utraty stabilności, widoczne są w podobny sposób na tomogramie, co powoduje złą interpretację struktury wewnętrznej pnia. Tomogram może wskazywać, że ubytki są większe niż w rzeczywistości, margines błędu około kilkunastu procent [Ostrovský i in. 2017, Chomicz 2007, Wang i Bruce 2008, Smiley i Fredrich 2004].

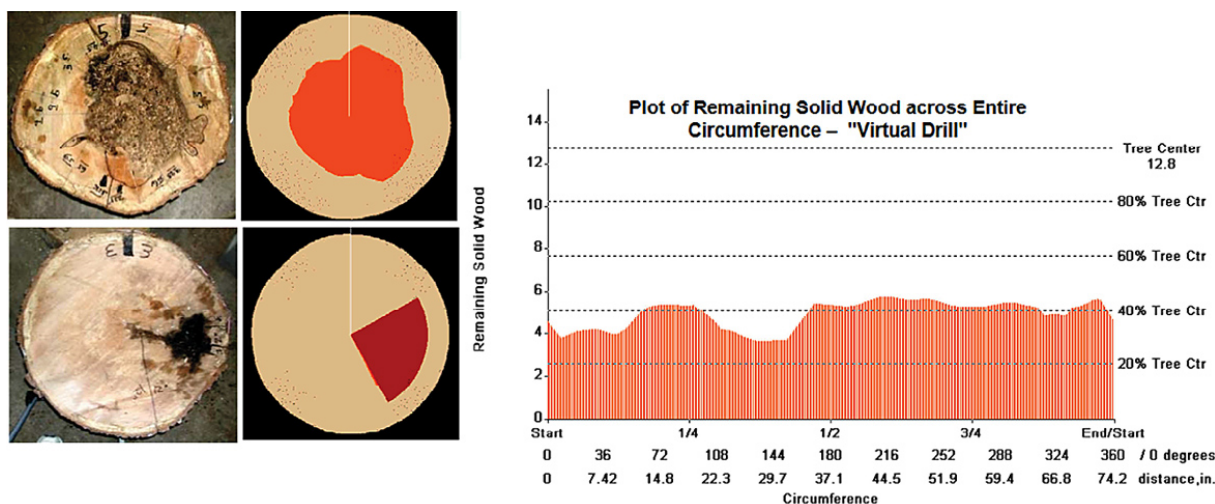
Nie można zastosować tego badania w przypadku obecności dużych elementów metalowych stosowanych w chirurgii drzew. Także mała średnica pnia (poniżej 40 cm) oraz temperatury otoczenia poniżej zera są przeciwwskazaniem do przeprowadzenia badania – wynik jest mylący. Badanie tomografem pokazuje ogólny obraz rozkładu wewnątrz pnia, w przypadku wątpliwości w zakresie interpretacji uszczegółowieniem badania może być w tym przypadku badanie z użyciem rezystografu, które pokazuje dokładnie zakres rozłożonych tkanek, może również wskazać obecność lub brak bariery CODIT (rys. 2).

TreeRadar. Drzewo jest prześwietlane za pomocą specjalnej anteny, cały obraz można uzyskać w czasie około 20 min. Poniżej (rys. 3) umieszczony został efekt wykonanej analizy za pomocą opisanego urządzenia.

SIM (Static Integrated Measurement). Jak podaje Siewniak i Bobek [2010] na terenie Polski metoda tą zostało zdiagnozowanych około 300 drzew m.in. w parkach zabytkowych. Przy-



Rys. 2. Obliczanie współczynnika bezpieczeństwa przez oprogramowanie tomografu

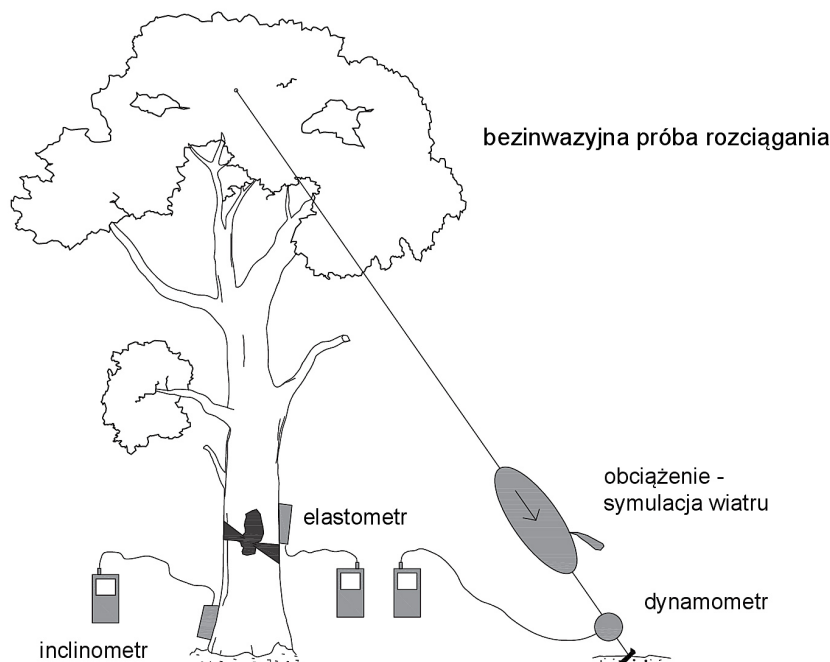


Rys. 3. Widok analizy wnętrza pnia uzyskanego przy pomocy urządzenia TreeRadar, (www.treeradar.com)

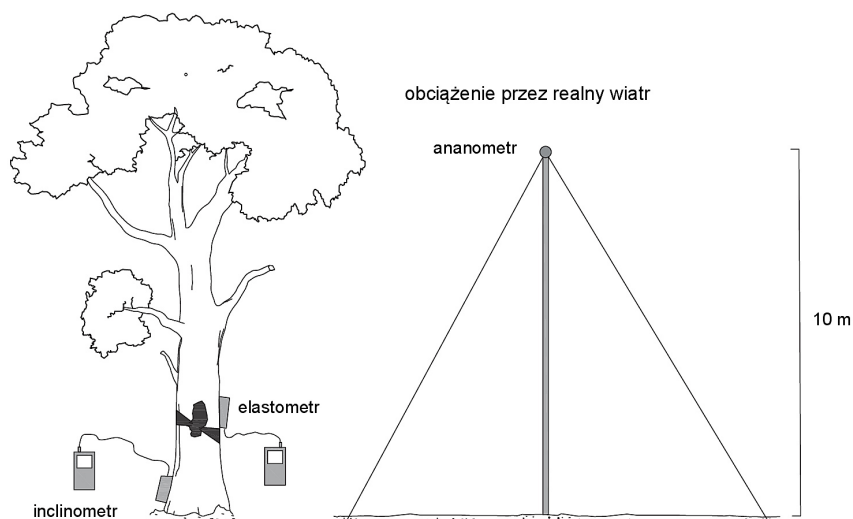
kładowo dzięki pomiarom przeprowadzonym metodą SIM klon pospolity (*Acer plantanoides*) rosnący przy Pałacu na Wodzie w Łazienkach Królewskich w Warszawie został uznany za drzewo bezpieczne i uniknął wydania decyzji zezwalającej na wycinkę. Na potrzeby niniejszego opracowania metoda ta została sklasyfikowana jako metoda instrumentalna, gdyż do oceny mechanicznej odporności drzewa wykorzystywane są urządzenia elastometr, dynamometr oraz inclinometr (rys. 4).

Metoda Dyna ROOT. W tej metodzie oznaczania stabilności dynamicznej korzeni wykorzystuje się anemometr, inclinometr,

oraz oprogramowanie komputerowe (rys. 5). Przy użyciu anemometru wykonuje się pomiary prędkości wiatru oraz jego kierunku. By pomiar był prawidłowy a wyniki wiarygodne urządzenie musi znajdować się co najmniej 10 metrów nad ziemią i nie dalej niż 1,5 kilometra od badanego drzewa. Nie może być osłonięte przed wiatrem, inaczej badanie będzie niewiarygodne. Inclinometr mierzy stopień odchylenia drzewa w części odziomkowej w trakcie ruchu. Pomiar wykonywany jest z dokładnością 0,001 stopnia, jak najniżej na pniu, najlepiej tuż przy samej ziemi. Oprogramowanie komputerowe zbiera dane z obu



Rys. 4. Schemat działania metody SIM (na podstawie: Siewniak i Bobek 2010, rys. Katarzyna Andzo)



Rys. 5. Schemat bezinwazyjnego badania drzewa w wykorzystaniu Dyna Root i masztu z ananometrem (rys. Katarzyna Andzo)

urządzeń i łączy je, obliczając współczynnik bezpieczeństwa oraz pokazuje reakcje drzewa w odziomku na prędkość wiatru (rys. 6.) [DynaRoot..., 2017]. Dzięki tej metodzie możliwe jest uzyskanie współczynnika bezpieczeństwa obliczanego na podstawie prędkości wiatru i stopnia odchylenia drzewa w odziomku [DynaRoot ..., 2017]. Gdy współczynnik bezpieczeństwa wynosi powyżej 1,5 poziom bezpieczeństwa jest wysoki. Gdy jest pomiędzy 1 a 1,5 poziom bezpieczeństwa jest średni, a poniżej 1 poziom bezpieczeństwa jest niski [DynaRoot ..., 2017].

OZNACZANIE STABILNOŚCI DYNAMICZNEJ KORZENI A STATYCZNA PRÓBA OBCIĄŻENIOWA

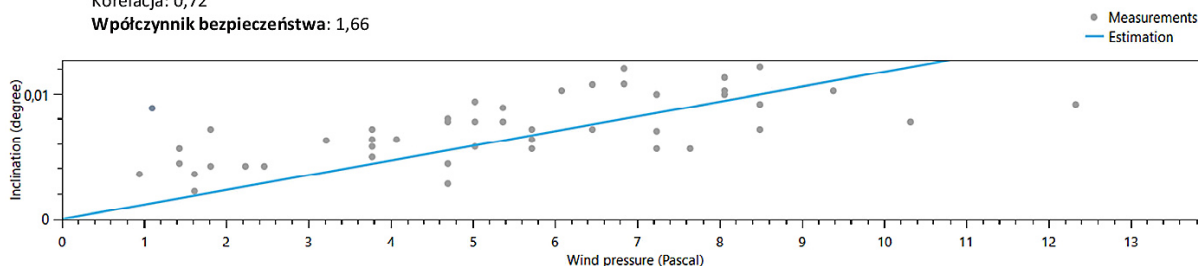
Oznaczanie stabilności dynamicznej korzeni zostało opracowane jako metoda alternatywna dla stabilnego testu obciążeniowego. Statyczna próba obciążeniowa w przeciwieństwie do metody oznaczania stabilności dynamicznej wykorzystuje statyczną siłę uzyskaną poprzez silne ciągnięcie liny przymocowanej do pnia. Potrzebna siła powinna wywoływać taki sam napór na koronę drzewa jak wiatr o prędkości 118 km/h

DynaRoot

Data pomiaru: 09.08.2017
 Rodzaj Anemometra: DS-2 ultrasonic Anemometer
 Liczba inklinometrów: 3
 Maksymalny wiatr w regionie: 120km/h
 Średni kierunek wiatru: 176 (południowy)
Współczynnik bezpieczeństwa: 1,31

Inklinometr 1

Położenie: strona południowa
 Czas pomiaru: 3h9min
 Długość statystycznego wiatru: 4min
 Korelacja: 0,72
Współczynnik bezpieczeństwa: 1,66



Rys. 6. Wynik badania Dyna Root

(33 m/s). Do przeprowadzenia statycznej próby obciążeniowej potrzebna jest siła 10-40 kN. Są też różnice przy wykonywaniu obu badań. Wykonanie statycznej próby obciążeniowej zajmuje około 1 godziny ciągłej pracy dwóch osób, gdy oznaczanie stabilności wymaga co najmniej 3 godzin bez wysiłku ze strony użytkownika. Statyczna próba obciążeniowa potrzebuje ciężkiego punktu kotwiącego np. inne drzewo lub cięższy wóz. Obie metody jednak wykorzystują bardzo dokładne inklinometry [Wang i in. 2004]. Zaletą metody oznaczania stabilności dynamicznej korzeni jest fakt, że oznaczanie stabilności wykorzystuje naturalny wiatr, bez potrzeby wysokościowego montażu przez arborystów lin w trakcie testu. Badanie jest reakcją całego drzewa na obciążenie. Badanie może wykonać jedna osoba i nie wymaga użycia punktu kotwiącego. Jednak by badanie zostało wykonane poprawnie potrzebny jest wiatr o prędkości co najmniej 25 km/h (8 m/s), który występuje średnio raz na tydzień. Nie jest to wielką przeszkodą do wykonania badania, ale niestety wymaga planowania wykonania testu i dobrej znajomości prognoz pogody. Oznaczanie wymaga więcej czasu, by wykonać je prawidłowo, choć samo badanie jest łatwiejsze od statycznej próby obciążeniowej.

OCENA PRZYDATNOŚCI METOD INSTRUMENTALNYCH

Opisane metody służą w różnym stopniu do kompleksowej oceny drzew problematycz-

nych, czyli takich które mogą stanowić zagrożenie. Aby zminimalizować liczbę drzew typowanych jako niebezpieczne, a co za tym idzie ilość niezbędnych badań, należy poddać drzewa podstawowej ocenie przez kompetentnego pracownika mającego stosowne doświadczenie. W tabeli 1 przedstawiono informacje otrzymane przy badaniu drzew określonym sprzętem oraz do subiektywnej oceny ich przydatności w systemach zarządzania. Z tabeli tej wynika, że podczas badań przeprowadzonych wybranymi metodami, w 78% otrzymane są bardzo przydatne bądź niezbędne informacje do zarządzania drzewami. Trzeba mieć jednak na względzie, że tylko sonda uznana została jako narzędzie niezbędne do oceny drzew. Urządzenie to wspomaga metody wizualne oraz pozwala zakwalifikować pozostałe drzewa do szczegółowych badań statyki. Bardzo dobrze wypadły również TreeRadar oraz metoda SIM, ze względu na wieloaspektowość otrzymywanych informacji. Pojedyncze badanie rezystografem lub tomografem nie daje pełnej informacji o stanie zdrowotnym drzewa, obraz ten otrzymywany jest podczas badania systemu korzeniowego, stąd takie wyniki otrzymane w tabeli. Świder przyrostowy oraz Fraktometr oceniane zostały jako przydatne w niewielkim stopniu, przy jednoczesnej wysokiej inwazyjności dla drzew. W praktyce odchodzi się od stosowania tych urządzeń. W przypadku drzew trudnych czasami wskazane jest zastosowanie wszystkich metod w celu zebrania informacji.

Tabela 1. Analiza porównawcza metod instrumentalnych

Nazwa metody	Uzyskane informacje	Przydatność uzyskanej informacji*	Przydatność metod w systemach zarządzania*
Świder przyrostowy	Wiek drzewa, wielkość przyrostu rocznego	1	1
Fractometr	Parametry drewna: wytrzymałość i sztywność	2	1
Sonda arborystyczna	Orientacyjny przebieg zgnilizny systemu korzeniowego lub pnia	4	4
Młotek elektryczny	Stan zdrowotny pnia drzewa (stopień rozkładu)	3	3
Tomograf soniczny	Stan zdrowotny pnia drzewa z lokalizacją i rozległością ubytków (wewnętrzny obraz pnia)	3	3
Shigometr	Rozległość ubytków wgłębnych pnia	3	3
Rezystograf oporowy	Rozległość ubytków wgłębnych pnia	3	3
TreeRadar	Obraz wnętrza pnia, obraz systemu korzeniowego	4	3
SIM	Stabilność drzewa w gruncie, wytrzymałość pnia drzewa na złamanie	4	3

* Ocena w skali 1–4, gdzie: 1 – niska przydatność, 2 – przydatne, 3 – bardzo przydatne, 4 – niezbędne.

Dopiero te informacje umożliwiają odpowiednią decyzję dotyczącą przyszłości drzewa. Koesera i in. [2017] przeprowadzili eksperyment oceny ryzyka upadku drzew przez 70 arborystów przy użyciu różnych metod. Wykazali, że w przypadku ograniczonej oceny wizualnej wskazywane ryzyko było niższe niż przy zastosowaniu podstawowych i zaawansowanych technik oceny.

WNIOSKI

- Każda z instrumentalnych metod badania drzew ma swoje ograniczenia, potencjalnie prowadzące do błędnej interpretacji uzyskanych danych.
- Prawidłowa interpretacja uzyskanych wyników w badaniach zaawansowanych wymaga dużego doświadczenia.
- W przypadkach drzew problemowych i cennych wskazane jest zastosowanie więcej niż jednej metody dla uzyskania pełnej informacji.
- Często istnieją obiektywne przeciwskazania do przeprowadzania konkretnej metody oceny drzew, dlatego jej wybór należy pozostawić specjalistom.

LITERATURA

- Koesera A.K., Hauerb R.J., Kleinc R.W., Jason W. 2017. Assessment of likelihood of failure using limited visual, basic, and advanced assessment techniques. *Miesbauerd Urban Forestry & Urban Greening*, 24, 71-79.

- Arborsonic 3D: User's Manual, 2017.
- Chomicz E. 2007. Bezinwazyjne metody wykrywania defektów wewnątrz pni drzew stojących (Tomograf PiCUS® Sonic i PiCUS Treetric®), *Leśne Prace Badawcze*, 3, 117-122.
- Divos, E., Szalai, L. 2002. Free evaluation by acoustic tomography. W: *Proceed. of the 13th Internat. Symp. on Nondestructive Testing of Wood*, August 19–21, Berkeley, CA, 251–256.
- Dynaroot Dynamic Root Evaluation System: User's Manual, 2017. DynaRoot Facopp http://fakopp.com/docs/products/dynaroot/dynaroot_EN.pdf
- Hayes E. 2002. Tree Risk Assessment & Tree Mechanics, *Arborist News*, 6(11), 33-39.
- Nicolotti G., Miglietta P. 1998. Using high-technology instruments to assess defects in trees. *J. Arboric*, 24(6), 297--302.
- Ostrovský R., Kobza M., Gažo J. 2017. Extensively damaged trees tested with acoustic tomography considering tree stability in urban greenery. *Trees*, 31, 1015–1023.
- Siewniak M., Bobek W. 2010. Zagrożenie ludzi i mienia w parkach, metody określania stanu statycznego drzew. *Kurier Konserwatorski*, 8, 13-17.
- Smiley T., Fredrich B.R. 2004. Determining strength loss from decay. *Journal of Arboriculture*, 18(4).
- Wang X., Bruce R. 2008. Visual Inspection, Acoustic Testing, and Resistance Microdrilling. *Allison Arboriculture & Urban Forestry*, 34(1), 1–4.
- Wang Xiping, Divos F., Pilon C., Brashaw B.K., Ross R.J., Pellerin R.F. 2004. Assessment of decay in standing timber using stress wave timing non-destructive evaluation tools: A guide for use and interpretation. *Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-147*. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2004.
- Wessolly L., Erb M., 1998. *Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle*, Berlin-Hannover.