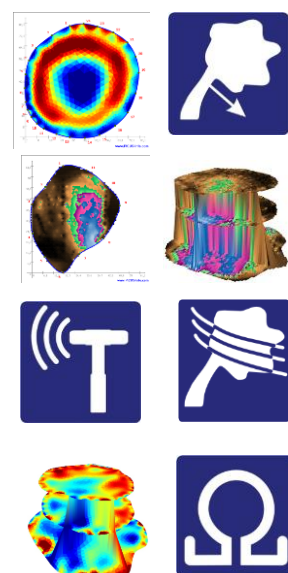


PICUS

Urządzenia do badania drzewa



Testy obciążeniowe drzewa
Tomografia dźwiękowa
Dynamiczny ruch kołysania
Tomografia oporności elektrycznej

www.argus-electronic.de

Opis urządzeń do badania drzewa produkcji

argus electronic gmbh
 Erich-Schlesinger-Straße 49d
 18059 Rostock
 Germany
www.argus-electronic.de
www.picus-info.com

ToRoPol Sp. z o.o.
 Czarna Droga 29
 03-620 Warszawa
www.toropol.pl

Spis treści

1.	Urządzenia do badania drzew firmy Argus Electronic GmbH	3
2.	Często zadawane pytania (FAQ)	4
3.	Tomograf dźwiękowy PICUS	7
3.1.	Zasada działania	7
3.2.	Określanie poziomu pomiaru.....	8
3.3.	Zmierz geometrię drzewa na poziomie pomiaru.....	8
3.4.	Wykonywanie pomiarów dźwiękowych.....	9
3.5.	Pełen tomogram – mniej sensorów	9
3.6.	Obliczanie tomogramu	9
3.7.	Linia czasu	10
3.7.1.	Buk – szybki postęp choroby.....	10
3.7.2.	Dąb – chory obszar pogarsza się, ale rozmiar pozostaje stały.....	10
3.7.3.	Buk – powolny rozwój choroby.....	10
3.8.	PiCUS CrackDect – Wykrywanie pęknięć poprzez PICUS Sonic Tomogram	11
3.9.	PiCUS 3 - najnowsza wersja PiCUS	11
3.10.	Skanowanie dźwiękowe korzeni.....	12
3.11.	Zalety stosowania urządzenia PiCUS	12
3.12.	Zastosowania PiCUS	13
4.	PiCUS : Treetronic®	15
4.1.	Zasada działania Treetronic®	15
4.2.	Jak połączyć tomogramy dźwiękowy oraz oporności elektrycznej	16
4.3.	Przykłady.....	17
4.3.1.	Kasztan: zgnilizna czy pustka?	17
4.3.2.	Choroba korzeni – Buk zainfekowany zgliszczakiem pospolitym	17
4.3.3.	Klon: pęknięcie czy zgnilizna?.....	18
4.3.4.	Zgnilizna korzeni – buk zainfekowany wachlarzowcem olbrzymim	18
5.	TreeQinetic® – Test statycznego obciążania drzewa.....	19
5.1.	Test statycznego obciążania drzewa	19
5.2.	Wykrywanie uszkodzeń korzeni po robotach budowlanych.....	21
6.	Dynamiczne kołysanie się drzewa	22
7.	“PiCUS World of Tomograms“ – Międzynarodowa baza danych tomogramów	24
8.	Kontakt.....	24

1. Urządzenia do badania drzew firmy Argus Electronic GmbH

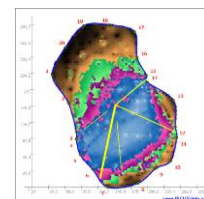
Rozwój urządzeń do badania drzew rozpoczął się w firmie Argus w roku 1998 poprzez opracowanie tomografu dźwiękowego PICUS przy współpracy firmy **argus electronic gmbh** oraz **Institut für Gehölze & Landschaft Dr. Gustke GmbH**. Światowa premiera urządzenia PICUS odbyła się w 1999 a do teraz PICUS pracuje w ponad 30 krajach na 6 kontynentach.

Cały czas opracowujemy nowe narzędzia i oprogramowanie czyniące pracę z urządzeniem jeszcze szybszą, prostszą i bardziej precyzyjną.

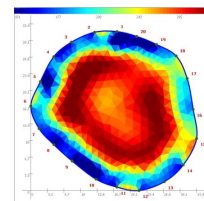
Do dnia dzisiejszego stworzona została mała rodzina produktów służąca wykrywaniu chorób i uszkodzeń w drzewach:



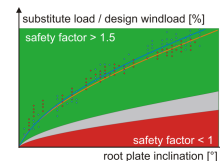
Tomograf dźwiękowy PiCUS®. Tomograf dźwiękowy PICUS bada drzewo przy pomocy fal dźwiękowych. Urządzenie mierzy czas rozchodzenia się po drewnie sygnału dźwiękowego generowanego przez młotek. Znając dokładną geometrię drzewa, oprogramowanie oblicza prędkości dźwięku i następnie kreśli mapę „prędkości” lub „modułu-E” w przekroju drzewa. Prędkość dźwięku w drewnie zależy od modułu elastyczności (MOE) oraz samej gęstości drewna i tym samym jego stanu zdrowia. Tomogramy o pełnej rozdzielczości można wykonywać tylko 6 czujnikami dźwiękowymi korzystając z elektronicznego młotka. Tomograf Dźwiękowy PICUS zdobył nagrodę **Technology Award 2000** kraju związkowego Mecklenburg-Vorpommern.



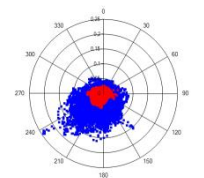
PiCUS : Treetric® –Tomograf rezystancji elektrycznej (ERT) Treetric do badania drzewa wykorzystuje napięcie elektryczne. Wynikiem pomiaru jest 2 wymiarowa przejrzysta mapa oporności elektrycznej drzewa. Właściwości chemiczne drewna takie jak wilgoć, zawartość wody, struktura komórek, koncentracja jonów, itd. wpływają na jego przewodność. Właściwości te mogą się zmieniać w skutek postępującej choroby. Treetric może wykryć bardzo wczesne stadia choroby powyżej lub nieznacznie poniżej poziomu gruntu



TreeQinetic – Istnieją dwa główne rodzaje powalonych drzew: wyrwanie z korzeniami lub złamanie. **Stacyjny test obciążeniowy** służy do szacowania odporności drzewa na wyrwanie z korzeniami lub złamania. System TreeQinetic rejestruje dane podczas badania statycznego. Może także rejestrować ruch kołysania się drzewa na wietrze.



Tree Motion Sensors (TMS) – Czujniki TMS służą do rejestracji ruchu kołysania się drzewa w warunkach naturalnych przez dłuższy okres czasu. Dane o wychyleniu umożliwiają identyfikację drzew ze słabym systemem korzeniowym przy niskim nakładzie kosztów.



Suwmiarka PiCUS. Suwmiarka PICUS jest urządzeniem służącym do rejestrowania geometrii pnia drzewa w poziomie wykonywanego badania. Precyzyjna geometria jest niezbędna do badań tomografii dźwiękowej i rezystancyjnej. Jest ona szczególnie pomocna przy badaniu drzew dużych lub o nieregularnych kształtach pnia

2. Często zadawane pytania (FAQ)

1. Jaka jest różnica pomiędzy tomografią dźwiękową a tomografią oporności elektrycznej?

Tomografia dźwiękowa wykorzystuje fale dźwiękowe do uzyskania informacji „mechanicznej” o stanie drewna w pniu. Tomografia oporności elektrycznej wykorzystuje napięcie elektryczne do uzyskania informacji „chemicznych” o drewnie. W skrócie są to dwie różne metody uzyskania dwóch różnych informacji o drewnie.

2. Jaka jest różnica pomiędzy PICUS 2 a PICUS 3?

PICUS 3 został zaprezentowany w październiku 2012. Jest to lekka oraz kompaktowa wersja poprzedniego urządzenia. Generalnie oba systemy wykorzystują tę samą technologię i wykonują takie same pomiary. Jednakże PICUS 3 jest prostszy w obsłudze, może pracować z lub bez PC, ma mniej kabli itd. Pełną listę parametrów PICUS 3 można znaleźć w ulotce urządzenia.

3. Ile potrzebuję sensorów dźwiękowych?

Technologia PICUS rozróżnia sensory dźwiękowe (czujniki, które odbierają i rejestrują sygnał dźwiękowy) oraz punkty pomiarowe MP. MP to gwóźdź umieszczony w drzewie. Stukając młotek w gwóźdź generowana jest fala dźwiękowa. Sensory dźwiękowe przyczepiane są do gwoździ i rejestrują fale dźwiękowe. System PICUS może wykorzystywać WIĘCEJ punktów pomiarowych (gwoździ) niż sensorów. Jest to ważne jeżeli chcesz badać duże drzewa przy ograniczonej ilości sensorów. Odległość pomiędzy punktami pomiarowymi powinna wynosić 15 do 40 cm. Bardzo gładkie i okrągłe drzewa będą wymagały mniej punktów pomiarowych, natomiast drzewa o grubej, chropowatej korze i nierównym obwodzie będą wymagały więcej. PICUS 3 dostępny jest w wersji z 6 lub 12 sensorami. Obie wersje mogą badać dowolny obwód drzewa.



Największe dotychczas przebadane drzewo to sekwoja wieczniezielona w Kalifornii o średnicy ponad 5 metrów. Zdjęcie obrazuje ten test wykonany przez Argus Electronic. W celu wykonania testu wyznaczono 66 punktów pomiarowych, lecz skorzystano tylko z 16 sensorów (wersja PICUS 2).

4. Jakie są ograniczenia tomografii dźwiękowej?

Pęknięcia są prawdziwą barierą dla dźwięku. Na tomogramie wyglądają na znacznie większe niż są w rzeczywistości i mogą powodować błędne interpretacje stanu drzewa. W celu identyfikacji pęknięć w kształcie gwiazdy, oprogramowanie PICUS posiada funkcję wykrywania pęknięć CrackDect. Zalecamy także połączenie PICUS z Tomogramem rezystencji elektrycznej TreeTronic

5. Jak ważna jest odpowiednia geometria?

Wyznaczanie prędkości opiera się na wzorze: $\text{Prędkość} = \text{droga} / \text{czas}$
Im geometria w miejscu pomiaru jest dokładniejsza, tym wyniki tomografii są precyzyjniejsze. Oprogramowanie PICUS umożliwia różne sposoby dokładnego pomiaru geometrii. Metoda triangulacji jest jednak najdokładniejsza.

6. Czy elektroniczna suwmiarka jest potrzebna?

Elektroniczna suwmiarka jest bardzo wydajnym narzędziem umożliwiającym precyzyjny pomiar pozycji punktów pomiarowych. Nie jest ona niezbędna, jednak pomaga w szybkim i dokładnym rejestrowaniu kompleksowej geometrii pnia na poziomie pomiaru. Wyniki z elektronicznej suwmiarki mogą być automatycznie przesyłane do komputera. Standardowe mechaniczne suwmiarki też mogą być wykorzystywane.

7. Jaka jest różnica pomiędzy Shigometrem a Treeetric?

Shigometr oraz Treeetric starają się uzyskać takie same informacje o konsystencji drewna ("czym jest oporność elektryczna?"), lecz bazują na innej zasadzie działania. Shigometr wymaga nawiercenia otworu w pniu, a następnie zbierane są informacje wzdłuż linii wiercenia. Jest to bezpośredni pomiar przewodności, gdyż dwie elektrody dotykają drewna w celu pomiaru napięcia i natężenia.

Treeetric wykorzystuje bardziej precyzyjną konfigurację czterech elektrod. Dwie elektrody służą do podawania prądu do drzewa, a dwie pozostałe mierzą spadek napięcia w różnych pozycjach. Dzięki temu Treeetric może zbierać informacje z całego przekroju pnia. Są to dane z całego pnia drzewa.

Obliczenia w Treeetric są inne od obliczeń Shigometru. Wynikiem obliczeń pomiarów Treeetric jest tomogram oporności elektrycznej (ERT). Interpretacja ERT wymaga doświadczenia i technicznej wiedzy o danym gatunku drzewa. ERT zapewnia cenne dodatkowe informacje o rodzaju uszkodzenia pnia drzewa

Na przykład: Mierząc **buk z wachlarzowcem olbrzymim**, tomogram dźwiękowy nie będzie w stanie wykryć choroby, gdyż drewno w pniu nie jest zaatakowane przez zgniliznę. Treeetric natomiast pokaże bardzo wysoką przewodność, co w przypadku **buku** oznacza infekcję grzybami, które zwiększają poziom wilgotności drewna. W tym przypadku Treeetric umożliwia także spojrzenie pod glebę dzięki trójwymiarowej naturze pomiarów. Tomograf dźwiękowy nie daje żadnych informacji spod poziomu gruntu

8. Ile sond potrzebnych jest do pracy z Treeetric?

Treeetric posiada 24 kanały lub sondy. Aby uzyskać odpowiednią rozdzielczość pomiaru, tomografia oporności elektrycznej wymaga więcej punktów pomiarowych niż tomografia dźwiękowa. W wielu sytuacjach zalecamy podwojenie ilości dźwiękowych punktów pomiarowych dzięki czemu zapewniona będzie dobra rozdzielczość pomiaru oporności elektrycznej. Dla przykładu, jeżeli tomogram dźwiękowy wykonany był w 10 punktach pomiarowych, zalecamy wykonanie tomografii oporności elektrycznej z 20 sondami. Większe drzewa można mierzyć łącząc nawet 3 urządzenia Treeetric

9. Czy urządzenie wymaga rocznych przeglądów okresowych?

Nie, sensory nie wymagają okresowej kalibracji. Firma Toropol oferuje jednak okresowe sprawdzenie i konserwację systemu zgodnie z wymogami producenta.

10. Czy do pracy z PICUS wymagane jest szkolenie?

Tak, do prawidłowej pracy z PICUS zalecamy 1 dniowe szkolenie.

11. Jaka jest rekomendowana konfiguracja systemu PICUS?

Ilość punktów pomiarowych (MP) nie jest aż tak ważna, gdyż każdy nowy system PICUS posiada elektroniczny młotek. PICUS 3 może być wyposażony w 6 lub 12 sensorów.

Konfiguracja minimalna:

Tomograf dźwiękowy PiCUS – 6 lub 12 sensorów
Standardowe oprogramowanie PICUS
Suwmiarka mechaniczna (np Haglöf)

Konfiguracja standardowa:

Tomograf dźwiękowy PiCUS – 6 lub 12 sensorów
Elektroniczna suwmiarka PICUS
Oprogramowanie Expert PICUS 3D

Konfiguracja naukowa / ekspert:

Tomograf dźwiękowy PiCUS – 6 lub 12 sensorów
Elektroniczna suwmiarka PICUS
Oprogramowanie Expert PICUS 3D
TreeTronic – Tomograf oporności elektrycznej

Połączenie tomogramów dźwiękowego z oporności elektrycznej daje znacznie więcej informacji. Łączenie SoT – ERT jest najlepszą technologią dostępną dla obrazowania drzew. Dlatego też stosowanie PICUS z 6 czujnikami ORAZ TreeTronic daje znacznie lepsze wyniki niż „tylko” PICUS z 12 czujnikami.

12. Czy tomogramy mogą pokazać drewno bielaste i drewno twarde w drzewie?

Yes. Particularly the TreeTronic shows you the sapwood / heartwood accurately in many situations. In trees with defects (decay or cavities), the sapwood – heartwood is more difficult to find.

13. Czy tomogram dźwiękowy lub elektryczny jest w stanie pokazać pierścienie wzrostu?

Nie, pierścienie wzrostu są zbyt małe, aby można je było wykryć przy pomocy tej technologii.

14. Czy tomogram dźwiękowy lub elektryczny daje informacje o korzeniach?

Tomogram dźwiękowy (SoT) nie daje żadnej informacji o korzeniach. Daje on informacje tylko na wysokości pomiaru.

Tomogram oporności elektrycznej (ERT) daje informacje o przewodności pewnej części pnia. Długość sekcji jest mniej więcej równa do średnicy drzewa. Dlatego też, mierząc przy samym poziomie gruntu, ERT może dać także informacje o korzeniach, szczególnie o występującej zgniliznie.

15. Czy mogę wykorzystać PICUS do wykrywania/mapowania korzeni?

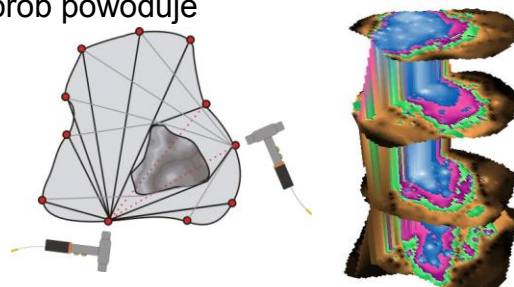
Wykorzystywanie tomografii dźwiękowej do wykrywania korzeni jest ograniczone. W idealnych warunkach powinno być możliwe wykrycie dużych korzeni blisko drzewa tuż pod powierzchnią ziemi






3. Tomograf dźwiękowy PICUS

3.1. Zasada działania

Tomograf dźwiękowy PICUS jest urządzeniem do bezinwazyjnego wykrywania schorzeń oraz pustek w drzewach. Prędkość dźwięku w drewnie zależy od modułu elastyczności oraz gęstości samego drewna. Urządzenie PICUS mierzy prędkość rozchodzenia się fal. Większość uszkodzeń oraz chorób powoduje złamania, pustki lub zgnilizny, które redukują elastyczność oraz gęstość drewna. Schemat po lewej obrazuje zasadę działania, gdzie fale dźwiękowe nie mogą się przedostać przez drewno (czerwona, kropkowana linia) jeżeli pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem jest pustka.



Wyniki badania dźwiękowego zapisane są w tomogramie dźwiękowym (SoT). Tomogram po prawej pokazuje grafikę 3D z 4 różnych skanów. Tomogram korzysta z różnych kolorów do obrazowania różnych właściwości drewna:

-  Obszary o wysokim module-E/gęstości, gdzie prędkość dźwięku jest najwyższa oznaczane są kolorem brązowym (ciemnym). Jest to zdrowe drewno.
-  Znaczenie zielonego zależy od defektu. Zazwyczaj oznacza odległość pomiędzy drewnem zdrowym a zniszczonym, lecz może także oznaczać wczesną infekcję grzybiczną.
-  Fioletowy oraz niebieski obrazują obszary o najniższej prędkości dźwięku (oznacza niski moduł-E.).

Skala kolorów (ciemno brązowy, zielony, fioletowy-niebieski-biały) jest zakresem od najwyższej do najniższej prędkości.

PICUS 3 jest najnowszą wersją tomografu dźwiękowego. W porównaniu do innych modeli jest on bardzo kompaktowy, lekki oraz prosty w obsłudze. Sensory dźwiękowe są połączone do jednostki głównej przez dwa przewody kablowe. Przewody kablowe zastąpiły modułowe sensory PICUS 2. PICUS 3 może pracować samodzielnie, bez PC a wbudowany ekran pokazuje uproszczoną wersję tomogramów.



PiCUS 3 na drzewie



Walizka transportowa



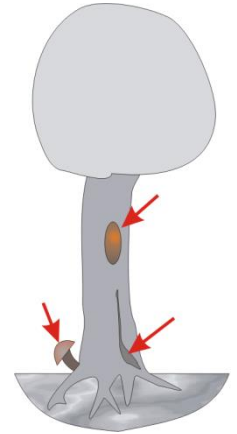
Sensor PiCUS 3

Wykonywanie pomiarów dźwiękowych urządzeniem PICUS składa się z 4 kroków:

1. **Określ poziom ,ilość oraz pozycję punktów pomiarowych i zamontuj urządzenie na drzewie**
2. **Zmierz geometrię drzewa na poziomie pomiaru**
3. **Wykonaj pomiar dźwiękowy**
4. **Oblicz tomogram**

3.2. Określanie poziomu pomiaru

W celu wyznaczenia poziomu pomiaru najpierw wykonaj ocenę wizualną drzewa oraz ocenę dźwiękową opukując korę młotkiem. Obserwuj zewnętrzne oznaki wewnętrznych uszkodzeń takich jak grzyby, zgnilizny, pęknięcia, pustki, zniszczona kora, itd. Skorzystaj z całej swojej wiedzy oraz doświadczenia i wybierz najlepszy poziom pomiaru według swojej wiedzy. Zalecamy wykonanie pomiarów na kilku poziomach

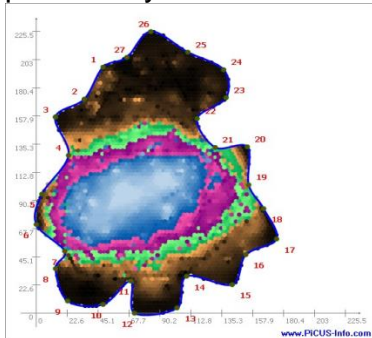


3.3. Zmierz geometrię drzewa na poziomie pomiaru

Podczas obliczania tomogramu, prędkości dźwięku obliczane są na podstawie znanych odległości i zmierzonego czasu pomiędzy punktami. Dlatego też ważne jest aby geometrię pomiędzy punktami pomiarowymi wyznaczyć precyzyjnie. Istnieje kilka sposobów wyznaczania geometrii na poziomie pomiaru.

1. Zwykła okrągła lub eliptyczna geometria
2. Geometria dowolnego kształtu - Triangulacja

Suwmiarka PICUS może efektywnie wykonać pomiary dystansów niezbędnych do wyznaczenia geometrii pnia wraz z naniesionymi punktami pomiarowymi. Elektroniczna suwmiarka PICUS może precyzyjnie wykreślić kształt każdego drzewa będącego w zakresie pomiarowym suwmiarki



Tomogram drzewa o nieregularnym kształcie. Po prawej: elektroniczna suwmiarka podczas pracy i przygotowana do transportu.



3.4. Wykonywanie pomiarów dźwiękowych

Impuls dźwiękowy generowany jest młotkiem pomiarowym na każdym punkcie pomiarowym (gwoździu) i rejestrowany przez sensory na wszystkich pozostałych punktach. Młotek elektroniczny posiada wyświetlacz oraz przyciski do definiowania punktu pomiarowego. Dzięki temu mniejsze systemy PICUS są także w pełni funkcjonalne

Ekran wskazujący pozycję pomiaru

Przyciski do wyboru pozycji pomiaru

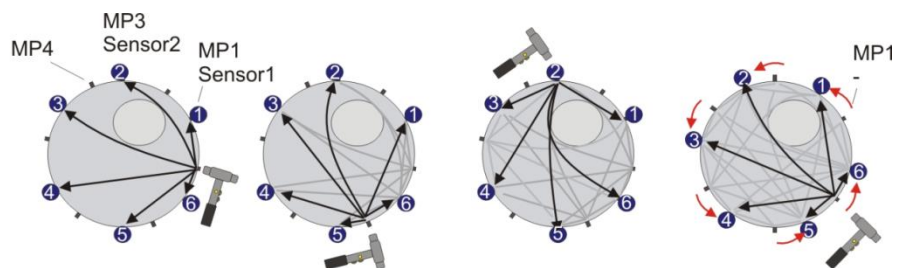


3.5. Pełen tomogram – mniej sensorów

Standardowym sposobem pomiaru danych dźwiękowych jest umieszczenie sensorów dźwiękowych na każdym punkcie pomiarowym (gwoździu). Oznacza to, że jeżeli na obwodzie znajduje się 10 punktów pomiarowych (gwoździ), należy skorzystać z 10 sensorów dźwiękowych. Impuls generowany jest na każdym punkcie pomiarowym (gwoździ) i rejestrowany przez sensory w 9 pozostałych punktach.

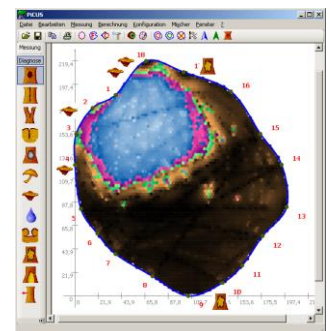
Elektroniczny młotek umożliwia stosowanie mniejszej ilości sensorów niż punktów pomiarowych. Umożliwia to stosowanie mniejszego systemu PICUS do normalnych badań. Młotek jest także użyteczny podczas badania dużych drzew, gdzie ilość punktów pomiarowych przewyższa ilość posiadanych sensorów dźwiękowych. Otrzymane wyniki są takie same jak w standardowych systemach, jednak wydłuża się sam czas pomiaru. Poniższy schemat prezentuje różne wersje procedury pomiarowej stosując mniej sensorów niż punktów pomiarowych. Metoda ta działa zarówno w PICUS 2 oraz PICUS 3.

Czarne kwadraty = Punkty pomiarowe (gwoździe),
Niebieskie punkty =
miejsce umieszczenia
sensorów



3.6. Obliczanie tomogramu

Tomograf dźwiękowy PICUS jest pierwszym urządzeniem stosującym algorytm rekonstrukcji „prędkości relatywnej”. Poprzednie urządzenia bazowały na prędkościach absolutnych, wyrażanych w metrach na sekundę. Jednakże, prędkość absolutna dźwięku zależy od wielu czynników nawet w tym samym drzewie. Dlatego też obliczenia wyznaczają prędkości „relatywne”. Tomogram przedstawia zdolność drewna do transmisji fal akustycznych.

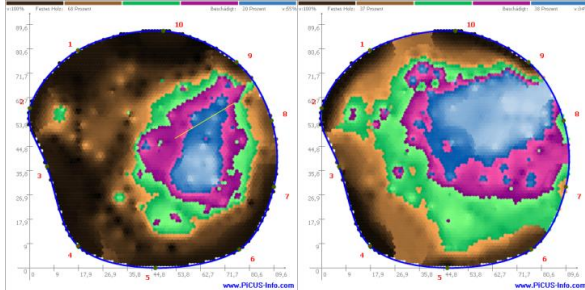




3.7. Linia czasu

Drzewa mogą być badane co kilka lat w celu monitorowania postępu choroby. Podczas takich badań ważne jest, aby pozycje MP zawsze były takie same.

3.7.1. Buk – szybki postęp choroby

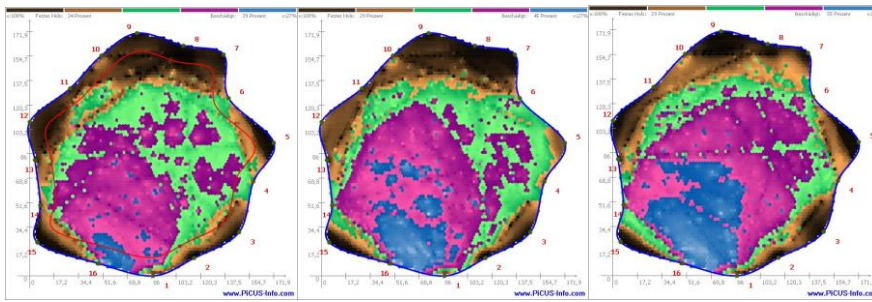


SoT 2007

2010

Przykład przedstawia postęp infekcji grzybiczej w buku. Drzewo było badane w 2007 i 2011 roku.

3.7.2. Dąb – chory obszar pogarsza się, ale rozmiar pozostaje stały



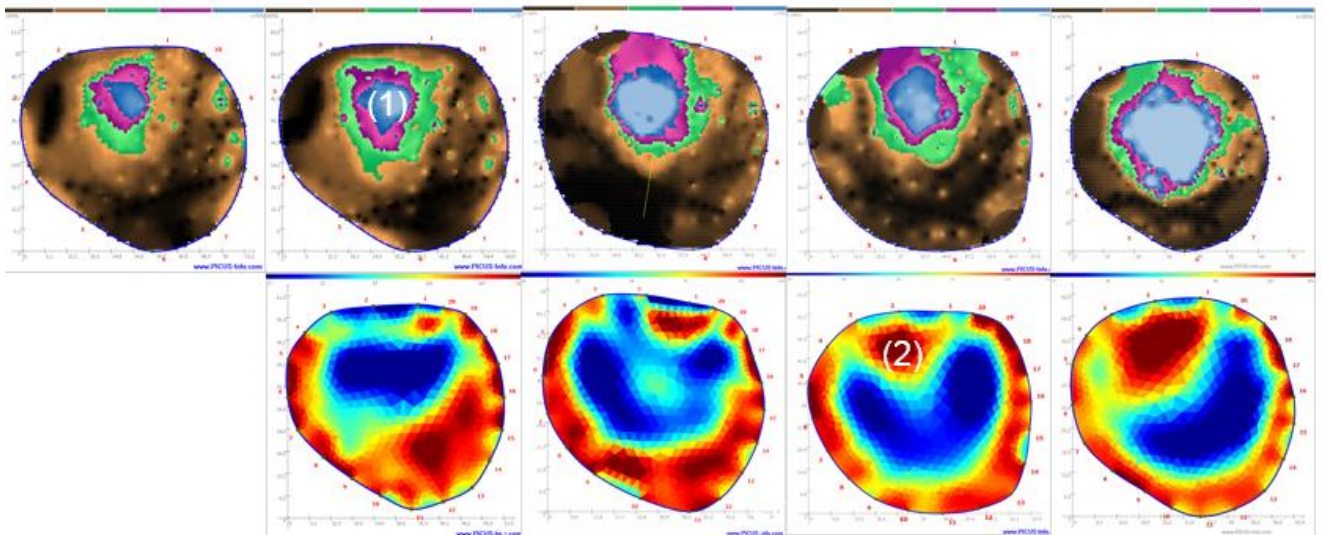
SoT 2006

2008

2010

Tomogramy dębu. Rozmiar chorego obszaru nie zmienia się. Drzewo znalazło sposób na zatrzymanie rozwoju grzyba w zdrowym drewnie

3.7.3. Buk – powolny rozwój choroby



SoT/ERT 2004

2007

2011

2013

2015

SoT buku obrazuje defekt (1). ERT wskazuje niski opór w tych miejscach (kolor niebieski = mokry materiał). Niska prędkość dźwięku oraz niski opór oznaczają zgniliznę. (2) oznacza rozwój pustki.

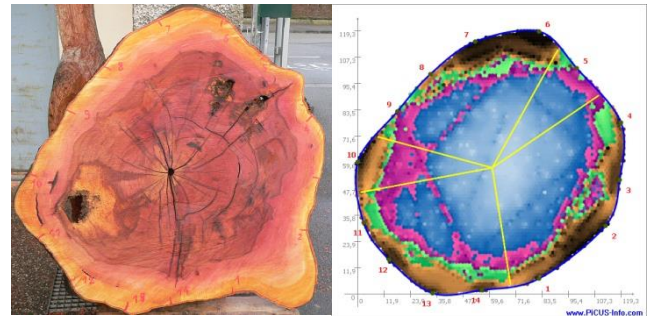
3.8. PiCUS CrackDect – Wykrywanie pęknięć poprzez PiCUS Sonic Tomogram

Pęknięcia to znaczące bariery dla fal dźwiękowych. Istnieją dwa główne typy pęknięć:

- “Pęknięcia gwiazdziste” rozchodzą się od środka drzewa do włókien zewnętrznych.
- “Pęknięcia pierścieniowe” biegną wzdłuż obwodu drzewa



Oba rodzaje pęknięć mogą powodować błędy w tomogramach. W wielu przypadkach, PiCUS może zidentyfikować pęknięcia gwiazdziste. Program sprawdza występowanie pęknięć radialnych i żółtymi liniami zaznacza ich prawdopodobne pozycje na tomogramie. Przykład obrazuje Platana z pęknięciami i zgnilizną.



3.9. PiCUS 3 - najnowsza wersja PiCUS

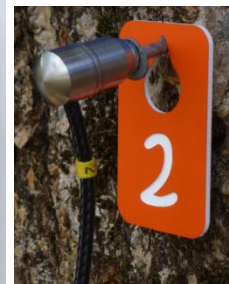
PiCUS 3 jest kompaktową wersją naszego sprawdzonego tomografu dźwiękowego. PiCUS 3 może pracować samodzielnie lub z PC. Dwa przewody kablowe, każdy z 6 sensorami mogą być podłączone do jednostki głównej. Jednakże, tak jak wcześniejsze modele, PiCUS 3 może pracować na nieograniczonej ilości punktów pomiarowych.



PiCUS 3 – 6 lub 12 sensorów



“Podgląd” tomogramu

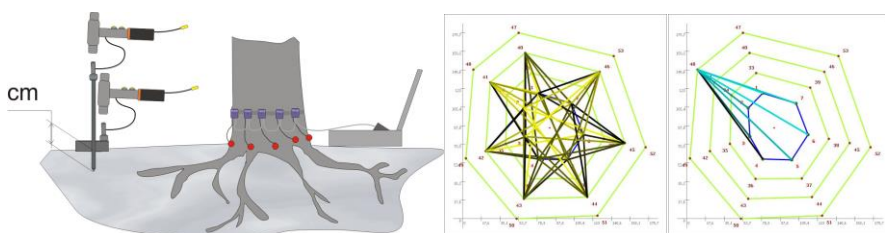


Sensor dźwiękowy

PiCUS 3 jest zoptymalizowany do dziennej pracy: szybki i prosty w obsłudze – oraz dzięki niskiej wadze – wygodny do noszenia. Posiada wbudowany GPS oraz wysokościomierz w celu rejestracji dodatkowych danych o drzewie. Inną nową funkcją jest „test-trzy-punktowy”, który można wykonać przed pełnym tomogramem w celu sprawdzenia czy jest konieczny.

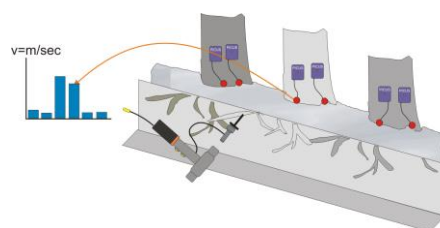
3.10. Skanowanie dźwiękowe korzeni

Urządzenie PICUS może wykonywać inne pomiary. Jednym z nich jest uzyskiwanie informacji o korzeniach drzewa. W tym celu, sensory PICUS należy umieścić na pniu drzewa tuż nad poziomem gruntu. Impulsy dźwiękowe generowane są przy użyciu małej metalowej płyty i/lub metalowego pręta oraz młotka na określonych pozycjach wokół drzewa. Urządzenie PICUS mierzy czas płynięcia tych impulsów. Analizując czasy, system może wygenerować ograniczone informacje o większych korzeniach. Metoda ta sprawdza się tylko w określonych sytuacjach. Najlepsze wyniki można uzyskać dla pojedynczych drzew, które nie są zbyt blisko budynków, piwnic, rur lub innych trwałych konstrukcji. Pomiary mogą być mocno zakłócone przez gęstość gruntu, zawartość wody oraz inne większe obiekty w ziemi (np. skały).



Lewo: Konfiguracja urządzenia do mapowania korzeni
 Prawo: Program przedstawia wynik skanu korzeni.
 Ciemne linie oznaczają większą prędkość dźwięku.

Natomiast lokalizacja korzeni drzewa sprawdza się podczas wyznaczania które korzenie należą do którego drzewa. W miejscach, gdzie znajduje się wiele drzew, można wyznaczyć, które korzenie należą do którego drzewa. Np. w miejscu planowanej budowy ułatwia to w określeniu, które drzewa należy usunąć.



3.11. Zalety stosowania urządzenia PicUS

- **Kompaktowy rozmiar.** Urządzenie wraz z suwmiarką mieści się w niewielkiej walizce. Nie wymaga zewnętrznej baterii podczas pracy. Całkowita waga urządzenia wraz z walizką transportową wynosi tylko 9 kg.
- Możliwość badania **drzew o średnicy od 30 cm**
- **PICUS może mierzyć na większej ilości punktów pomiarowych niż posiada czujników.** Podczas pomiaru czujniki można przekładać między miejscami, dzięki czemu można stosować do 24 lub 50 punktów pomiarowych posiadając tylko 6 lub 12 czujników
- **Pomiar nie jest zakłócany hałasem otoczenia.** Specjalna technologia eliminuje otaczające szумы dzięki czemu można wykonywać pomiary w każdym miejscu, np. przy ruchliwych drogach lub w wietrznych miejscach.
- **Czujniki Picus są montowane na zwykłe gwoździe.** Nie wymagają specjalnych pinów montażowych do drzewa.
- Czujniki Picus są bardzo lekkie i małe, a ich **montaż jest niezwykle prosty i szybki.** Mogą być zamontowane w trudno dostępnych miejscach na drzewie.
- Wynik w postaci **czytelnego, kolorowego tomogramu**

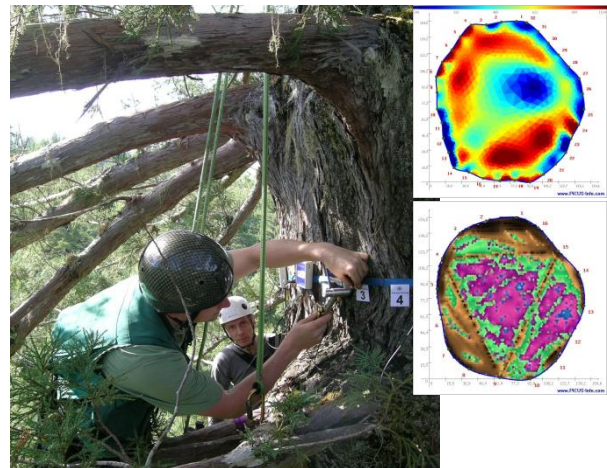
- **Proste wykrywanie pęknięć.** System PICUS CrackDect umożliwia wykrywanie pęknięć gwiaździstych i ułatwia interpretację stanu drzewa
- **Wygodny w obsłudze.** Posiadając podstawową wiedzę techniczną o drewnie i fizyce dźwięku można łatwo nauczyć się obsługiwać urządzenie PICUS
- **Tomogram PICUS może być w prosty sposób połączony z Tomogramem oporności elektrycznej TreeTronic** dzięki czemu można uzyskać znacznie szersze spectrum informacji o stanie drzewa.
- Dane dźwiękowe są poddawane **obliczeniom relatywnym** dzięki czemu kompensowana jest zmienna gęstość drewna. Umożliwia to badanie na gatunkach jeszcze wcześniej nie testowanych oraz z różną siłą stukania młotkiem.
- **PICUS współpracuje z niezwykle wygodną suwmiarką** służącą do rejestracji geometrii. Suwmiarka posiada zakres pomiarowy do 2 metrów i łączy się z urządzeniem Picus przy pomocy Bluetooth. Geometria drzewa wyznaczana jest bazując na metodzie triangulacji, która jest najdokładniejszym sposobem wyznaczenia dokładnej pozycji czujników.
- PICUS umożliwia określenie, **które korzenie należą do którego drzewa** przy pomocy funkcji Root-Tree-Allocation
- **Urządzenie PICUS wykonane jest z komponentów najwyższej jakości**

3.12. Zastosowania PiCUS

Od momentu prezentacji urządzenia w 1999, PiCUS był rozpowszechnił się w ponad 30 krajach na całym świecie. Poniższe zdjęcia pokazują zastosowania w różnych miejscach.



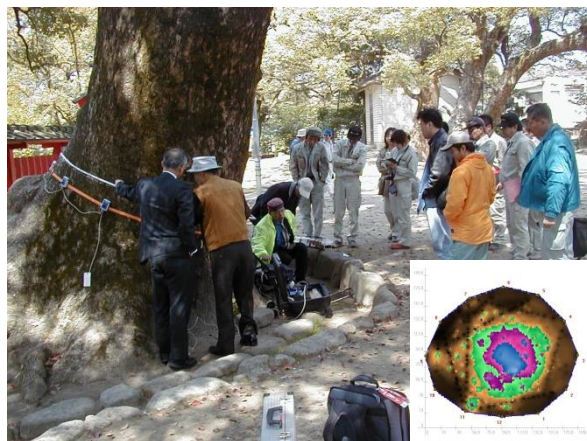
PiCUS na Dębie Ivenacker (Niemcy)



PiCUS test na 93.5 meterach nad ziemią Kalifornia redwood (USA)



Drzewo cedrowe w Presidio, CA (USA)



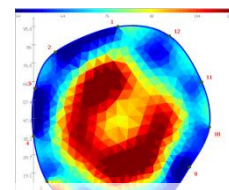
PiCUS w świątyni w Fukuoka (Japonia)



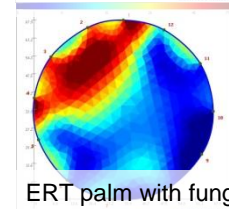
Spotkanie użytkowników PICUS



Palma olejowa (Malezja)



ERT of sound palm



ERT palm with fungus



4. PiCUS : TreeTronic®

4.1. Zasada działania TreeTronic®

PiCUS TreeTronic® to **Tomograf Oporności Elektrycznej (ERT)**. Urządzenie wykorzystuje napięcie/prąd elektryczny do badania drzewa. Wyniki wyświetlane są jako dwuwymiarowa mapa przejrzystości obrazująca oporność elektryczną drewna, zwana Tomogram Oporności Elektrycznej ERT. Podczas pomiaru zaciski pomiarowe podłączone są do gwoździ służących do pomiaru PICUS. Pomiar trwa ok 10 do 30 sekund (TreeTronic 3).



Oporność elektryczna drewna zależy głównie od:

- Zawartości wody
- Skadu chemicznego, który zmienia się zależnie od stanu drewna
- Struktury komórek: drewno reakcyjne lub korzenie mają inny opór niż „normalne drewno”

W połączeniu z **Tomogramem Dźwiękowym**, ERT uzupełnia informacje o drzewie. Wspólne analizowanie SoT oraz ERT zazwyczaj umożliwia:

- W wielu przypadkach rozróżnienie rodzaju uszkodzenia (np pęknięcie/pusta lub zgnilizna) drzewa
- Wykrycie wczesnego stanu choroby
- Uzyskania informacji o obszarach powyżej lub poniżej poziomu pomiaru. Umożliwia to analizowanie problemów z korzeniami.

ERT obrazowane są kolorami tęczy:



Niebieski oznacza obszary o niskim oporze (duża zawartość wody, itd)

Zielony oraz żółty oznaczają wzrost oporności

Kolory czerwone oznaczają obszary o dużej oporności (mało wody, itd)

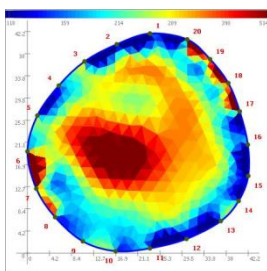


4.2. Jak połączyć tomogramy dźwiękowy oraz oporności elektrycznej

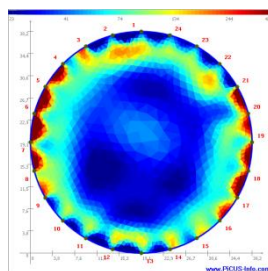
Głównym aspektem podczas interpretowania ERT jest rozkład obszarów o wysokim oraz niskim oporze. Należy zdefiniować obszary o oporze niskim oraz wysokim. Informację tą należy porównać ze standardowym rozkładem takich obszarów w zdrowym drzewie danego gatunku.

Ze względu na złożoność metody pomiarowej, rzeczywiste wartości oporu podane na tomogramie nie są znaczące ani bardzo precyzyjne. Interpretacja ERT jest dokładna tylko, jeżeli jest wykonywana w połączeniu z SoT.

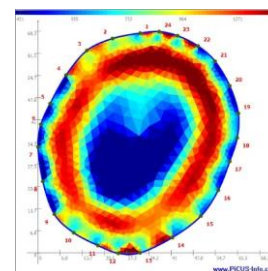
W celu analizy ERT, operator powinien posiadać wiedzę na temat danego gatunku. **Każdy gatunek posiada typowy rozkład obszarów mokrych oraz suchych.** Dotychczas udało się zidentyfikować trzy rodzaje rozkładu oporności w drzewie.



ERT typ 1



ERT Typ 2



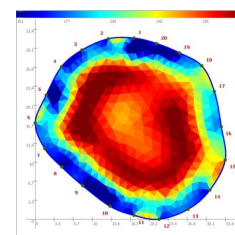
ERT Typ 3

Tabela poniżej prezentuje ogólne zasady interpretacji ERT dla drzew typu 1. Większość europejskich gatunków tj brzoza, lipa, buk, sosna, topola i wiele innych należą do gatunku 1.

Drzewa *ERT Typ1* posiadają zazwyczaj niższy opór (niebieski ERT) w drewnie bielastym na krawędziach oraz wyższy opór (czerwony ERT) w drewnie twardej w środku.

Tabela opisująca analizę **środk**a drzewa

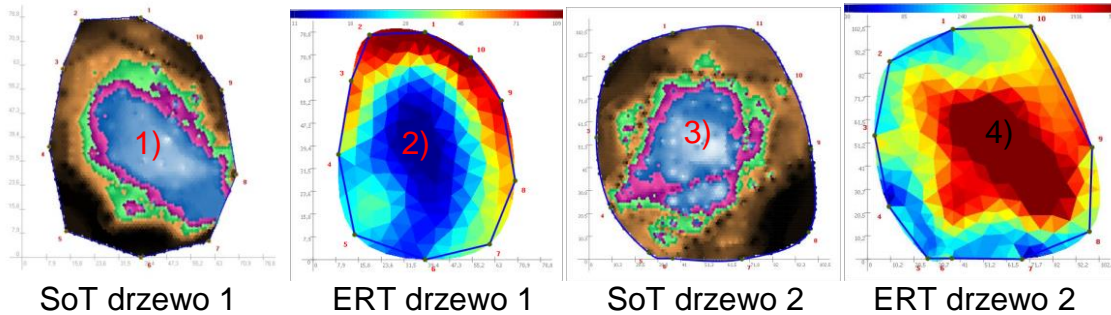
SoT Prędkość dźwięku [m/s]	ERT Oporność [$\Omega \cdot m$]	Konkluzja
Wysoka (brąz)	Wysoka (czerw)	Zdrowe
Wysoka (brąz)	Niska (niebieski)	Bezpieczne, lecz wczesna choroba
Niska (nieb/fiolet)	Wysoka (czerw)	Pustka / martwa zgnilizna
Niska (nieb/fiolet)	Niska (niebieski)	Żywa zgnilizna





4.3. Przykłady

4.3.1. Kasztan: zgnilizna czy pustka?

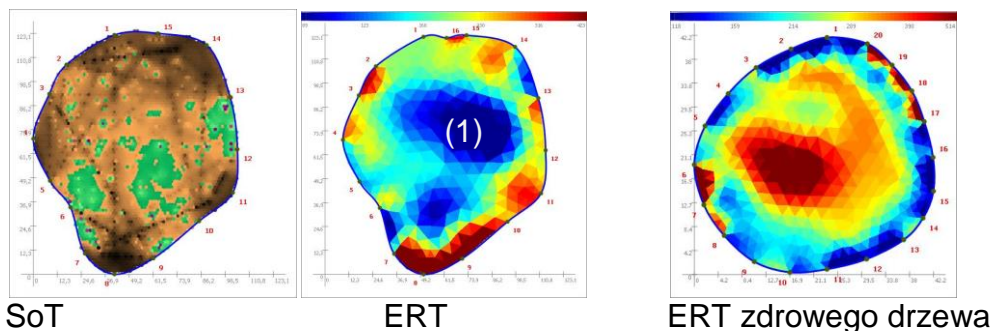


SoT “Drzewo 1” pokazuje duże uszkodzenie (1), lecz rodzaj uszkodzenia jest nieznan. Kolor niebieski w tomogramie ER (2) obrazuje obszar o niskiej oporności; prawdopodobnie ze względu na dużą zawartość wody. Połączenie niskiej prędkości dźwięku (SoT) oraz niskiej oporności (ERT) jest typowe dla aktywnej zgnilizny. W przypadku kasztanowca, diagnoza to patogen.

“Drzewo 2” wygląda na bardzo suche w środku (czerwony kolor na ERT (4)). Oznacza to, że drzewo nie jest zainfekowane mokrą zgnilizną. ERT obrazuje obszar o dużej oporności (4), natomiast tomogram dźwiękowy wskazuje niską gęstość (3). Sugeruje to pustkę w pniu drzewa.

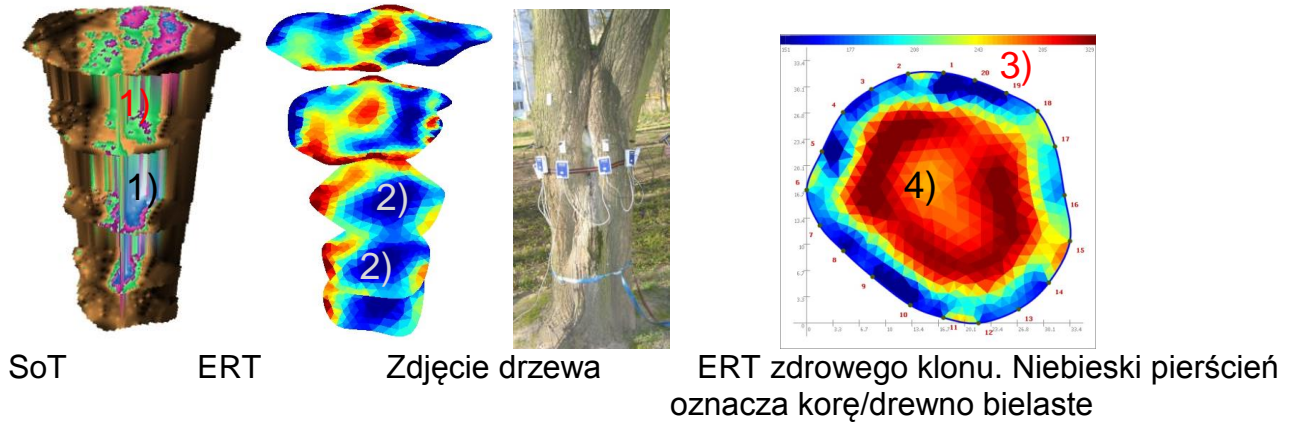
4.3.2. Choroba korzeni – Buk zainfekowany zgliszczakiem pospolitym

SoT dla tego drzewa obrazuje typowy rozkład dla infekcji grzybiczej: kolory dla środka pnia nie są najciemniejsze (tzn. wysokiej prędkości dźwięku), lecz tylko jasno brązowe. ERT pokazuje niską oporność w środku (1), co potwierdza aktywność grzybiczną. ERT po prawej pokazuje typowy rozkład oporności dla zdrowego Buku.



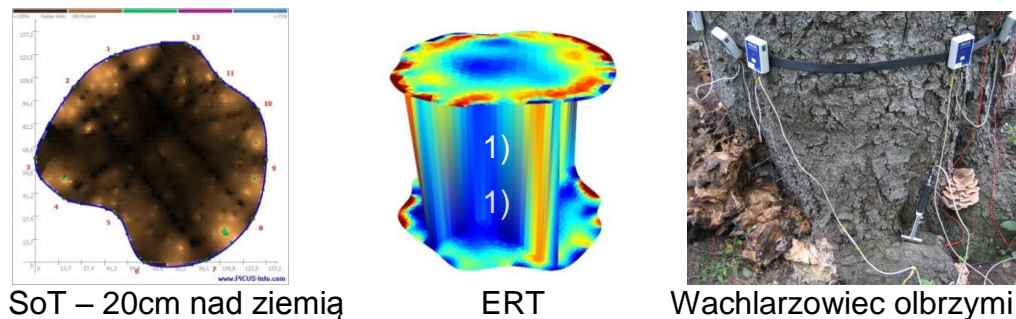
4.3.3. Klon: pęknięcie czy zgnilizna?

Ten klon miał stare uszkodzenie, które mogło spowodować zgniliznę. Podczas badania wykonano 2 różne pomiary. SoT wykazał obszar możliwego pęknięcia z niską prędkością rozchodzenia się dźwięku (1). ERT wykazał niską oporność elektryczną w środku pnia (2). Zdrowy klon posiada niebieski pierścień o wysokim przewodnictwie (3) na krawędzi oraz obszar o mniejszym przewodnictwie w środku pnia (4) tak jak pokazano na prawym ERT.



4.3.4. Zgnilizna korzeni – buk zainfekowany wachlarzowcem olbrzymim

System korzeniowy tego drzewa został zainfekowany wachlarzowcem olbrzymim. Skan dźwiękowy wykonany 20 cm nad poziomem gruntu nie wykrył uszkodzeń. ERT wykonany 20 cm oraz 120 cm nad gruntem wykazał wysoką przewodność w środku pnia (1). Zdrowy buk powinien posiadać obszar o mniejszej przewodności w środku pnia (czerwony ERT) tak jak na ERT pokazanym powyżej.



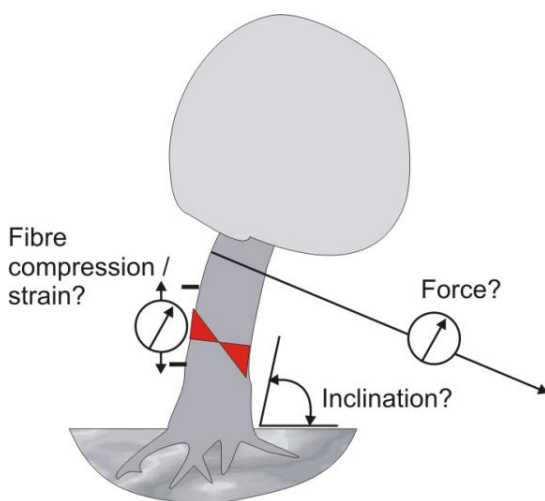


5. TreeQinetic® – Test statycznego obciążania drzewa

5.1. Test statycznego obciążania drzewa

Test obciążania drzewa został opracowany przez WESSOLLY i SINN na Uniwersytecie Sztutgarskim w połowie lat osiemdziesiątych. Służy do oceny precyzyjnej oraz bezinwazyjnej odporności drzewa na wyrwanie z korzeniami lub złamania pnia drzewa.

Podczas badania obciążania, siła (odpowiednik siły wiatru) jest generowana na drzewo poprzez wyciągarkę oraz stalową linę. Reakcja drzewa na zadaną siłę jest mierzona poprzez urządzenia o wysokiej rozdzielczości (elastometr oraz inklinometr) a uzyskane dane są porównywane z danymi ze zdrowego drzewa. Głównymi składowymi, które należy uwzględnić podczas obliczeń to siła wiatru (powietrzna oraz struktura korony, wysokość drzewa, itd.) oraz właściwości zielonego drewna.



Schemat testu statycznego obciążania



Elementy TreeQinetic na drzewie

System **TreeQinetic** został stworzony do zbierania danych w trakcie testu obciążania.

Kompletny system składa się z:

1. Jednego **miernika siły** mierzącego siłę obciążającą.
2. Co najmniej jednego **elastometru**, który mierzy zmiany w długości włókien drewna z rozdzielczością 0.001 mm.
3. Co najmniej jednego **inklinometru**, który mierzy pochylenie drzewa z rozdzielczością 0.005°.
4. Oprogramowania analizującego dane **ArboStat**

Alternatywą jest system wykorzystujący **siłę wiatru** do pomiaru pochylenia się drzewa na wietrze (patrz rozdział 6).

System PICUS TreeQinetic może jednocześnie rejestrować dane z wielu czujników. Cały system obciążania jest rejestrowany synchronicznie a dane są bezprzewodowo przesyłane do komputera PC.

Zalety:

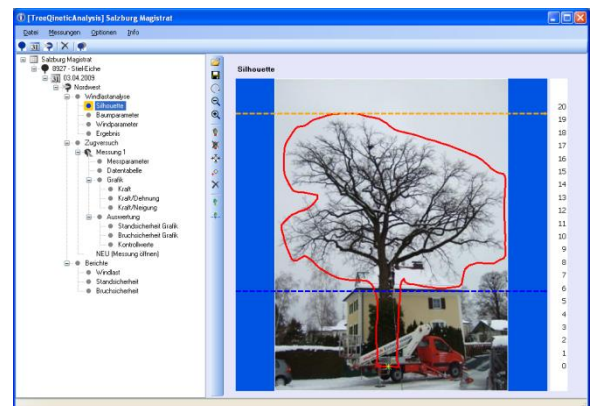
- **Wygodny, bezprzewodowy pomiar i ciągła transmisja danych**
- **Nowoczesne analizy siły wiatru**
- **Użytkownik może opracować wyniki samodzielnie**
- **Czytelne graficzne wyniki**
- **Bezpośrednia informacja o stabilności pnia drzewa**
- **Bezpośrednia informacja o stabilności systemu korzeniowego**



Lewe zdjęcie obrazuje elastometry zamontowane na drzewie, które rejestrują reakcję włókien na siłę obciążającą. Zdjęcie po prawej obrazuje typową wyciągarkę wytwarzającą siłę odpowiadającą sile wiatru.

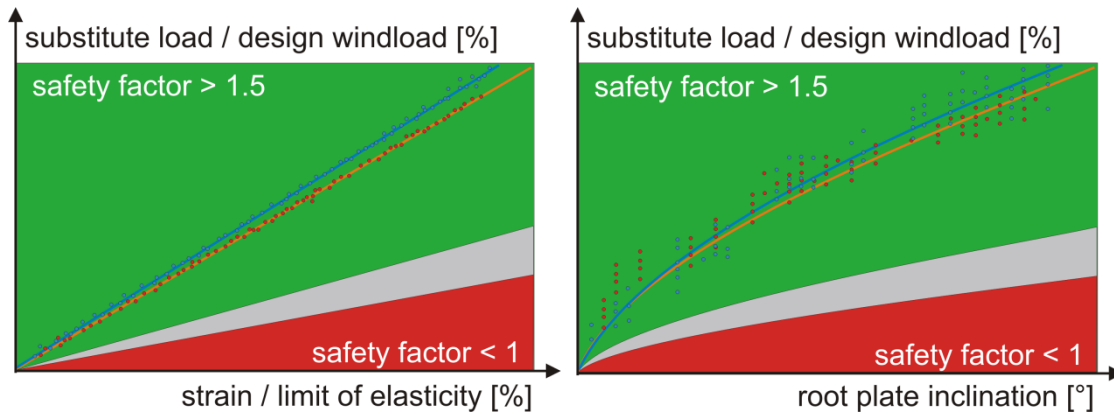
**Oprogramowanie analizujące ArboStat**

Oprogramowanie analizujące ArboStat oblicza odporność pnia drzewa na złamanie oraz stabilność system korzeniowego. W tym celu wykorzystuje analizę oddziaływania siły wiatru na drzewo oraz wyniki z pomiaru obciążania. Do analizy oddziaływania siły wiatru wprowadzane są takie dane jak wysokość drzewa, średnica pnia, kształt korony, strefa wiatru, itd. (patrz na prawo). Na podstawie tych danych obliczana jest siła (wiatru) na jaką narażone jest drzewo.



Odporność na złamanie można obliczyć wykorzystując analizę siły wiatru oraz dane z badania obciążenia. Wyniki przedstawione są na prostym zielono-czerwonym wykresie. Relacja zielonego do czerwonego obliczana jest na podstawie analizy siły wiatru. Punkty danych ze wszystkich elastometrów uwzględnione są na wykresie. Jeżeli wartości znajdują się w obszarze zielonym, stabilność oraz odporność pnia na złamanie są wystarczające.

Stabilność systemu korzeniowego obliczana oraz prezentowana jest w podobny sposób. Dane z inklinometrów nanoszone są na oddzielny zielono-czerwony wykres, który generowany jest na podstawie analizy siły wiatru oraz krzywej wyników.



Wykres odporności pnia (lewo) oraz stabilności bryły korzeniowej (prawo)

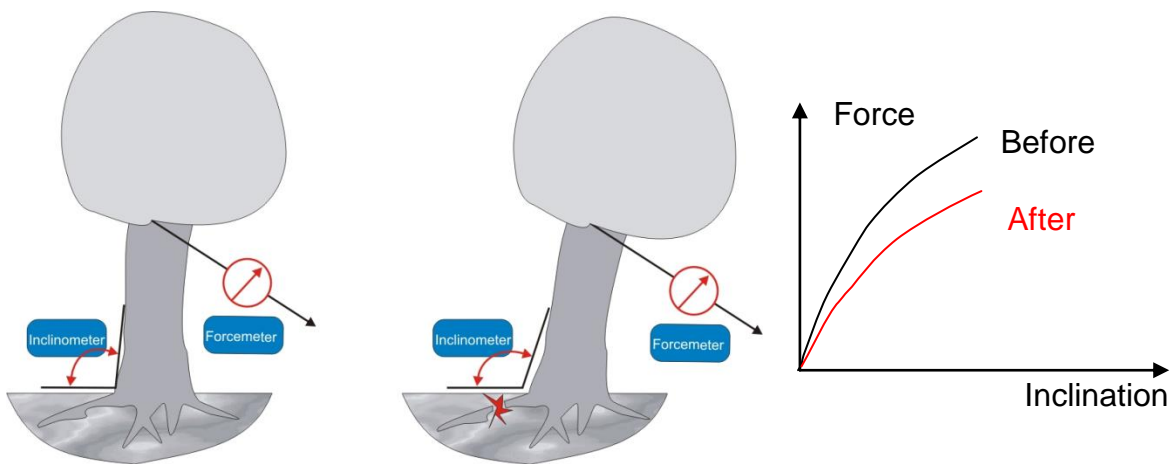
W celu prawidłowej obsługi programu analizującego wymagane jest odbycie szkolenia



5.2. Wykrywanie uszkodzeń korzeni po robotach budowlanych

System TreeQinetic może być wykorzystany do wykrycia dużych uszkodzeń bryły korzeniowej drzewa podczas robót budowlanych

W tym celu należy zarejestrować wykres siły-wychylenia danego drzewa będącego w pobliżu miejsca robót przed i po robotach. Jeżeli wykres „po robotach” jest gorszy niż wykres „przed”, oznacza to, że bryła korzeniowa prawdopodobnie została uszkodzona. Poniższy rysunek przedstawia procedurę.



Lewy; pomiar PRZED rozpoczęciem robót

Środek; pomiar PO robotach. Pochylenie jest większe ponieważ główny korzeń został uszkodzony.

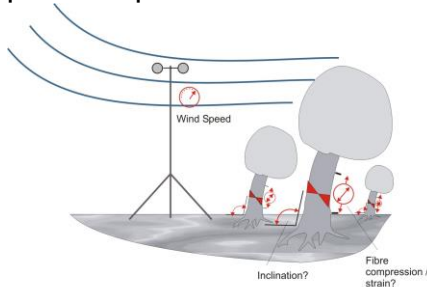
Prawy; wykres wyników. Podczas drugiego testu, mniej siły potrzeba do wychylenia drzewa.



6. Dynamiczne kołysanie się drzewa

Istnieją dwa rodzaje urządzeń pomiarowych służących do pomiaru naturalnego wyginania się drzewa na wietrze: System TreeQinetic (TQ) oraz **Tree Motion Sensor (TMS)**.

Sytem TQ wykorzystuje inklinometry, elastometry oraz anemometr do pomiaru naprężenia oraz wychylenia pnia drzewa podczas oddziaływania wiatru. PC rejestruje dane cały czas podczas pomiaru w terenie.



Czujniki TMS to czujniki wychylenia (inklinometry), które rejestrują wychylenie bryły korzeniowej samodzielnie przez 10 do 20 dni bez konieczności podłączenia do PC. Tempo próbkowania 20 Hz umożliwia rejestrację ruchów dynamicznych.

Jeden TMS, czujnik bazowy, montowany jest na poziomie gruntu. Wychylenie rejestrowane przez ten czujnik określa stan bryły korzeniowej drzewa. Małe wychylenia drzewa oznaczają dobry stan bryły korzeniowej.

Drugi TMS, czujnik kontrolny, może być zamontowany 2-3 metry nad ziemią. Czujnik kontrolny służy do wykrywania zakłóceń oraz rejestrowania wyginania się pnia.

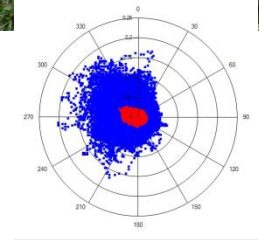
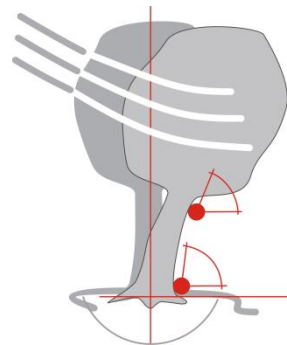


Diagram polarny (po prawej) obrazuje różnice w wychyleniu czujnika bazowego (czerwony) oraz kontrolnego (niebieski).

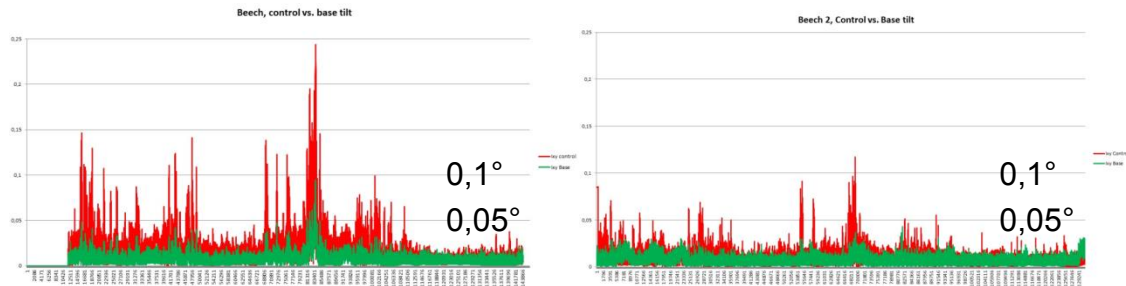
Ocenę danych można wykonać poprzez oprogramowanie na stronie www.treesensor.com.

Zalety systemu TMS:

- Łatwe identyfikowanie drzew ze słabą bryłą korzeniową
- Rzeczywista reakcja drzewa na rzeczywisty wiatr
- Łatwy montaż: Montaż na drzewie trwa około 5 minut
- Analiza danych poprzez internet: automatyczne generowanie pełnych raportów
- Łatwe do zrozumienia graficzne raporty

Czujniki TMS można stosować w wielu sytuacjach. Jednakże, relatywnie prosty sposób wykorzystania czujników to porównanie odczytów pomiędzy drzewami lub porównanie wyników z różnych okresów. Poniżej są dwa przykłady:

- Pomiar wielu podobnych drzew (np drzewa przy alei w parku) w celu zbadania czy wszystkie drzewa reagują podobnie. Drzewo, które wychyla się bardziej może mieć słabszy system korzeniowy. Porównując wychylenie się podobnych drzew eliminujemy problem określenia poziomu naturalnego wychylania się drzewa. Przykład obrazuje dane z dwóch Buków podczas tej samej wietrznej pogody. Odstęp pomiędzy drzewami to 100 metrów a maksymalne podmuchy wiatru to ok. 50 – 55 km/godz.

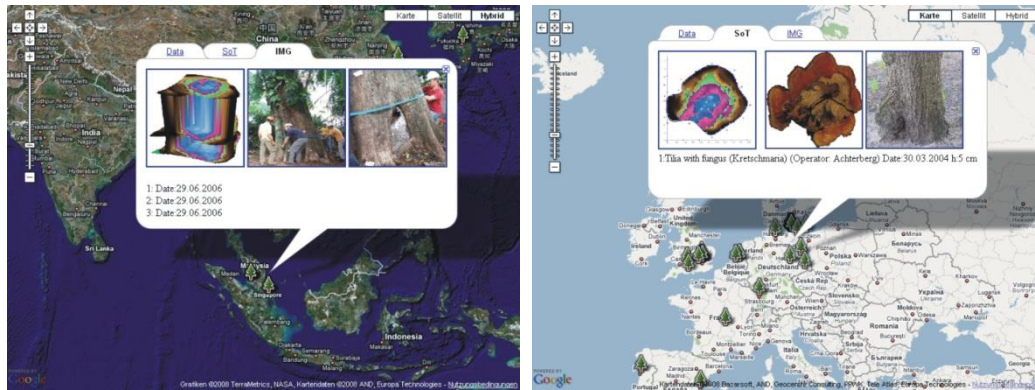


Buk 1 (po lewej) wykazywał znacznie większy ruch bryły korzeniowej niż Buk 2 (po prawej).

- Pomiar drzewa przed i po pracach budowlanych w pobliżu drzewa. Jeżeli ruch kołysania się drzewa jest znacznie większy po pracach budowlanych, możemy założyć, że system korzeniowy został uszkodzony.

7. “PiCUS World of Tomograms” – Międzynarodowa baza danych tomogramów

Firma Argus tworzy na stronie www.picus-info.com międzynarodową bazę danych tomogramów dźwiękowych oraz oporności elektrycznej. Umożliwia to wymianę doświadczeń oraz poglądów wielu użytkownikom urządzenia PICUS.



8. Kontakt

argus electronic gmbh
Erich-Schlesinger-Straße 49d
18059 Rostock
Germany

Tel.: +49 (0) 381/49 68 14 4-0

e-mail : lothar.goecke@argus-electronic.de

www.argus-electronic.de

ToRoPol Sp. z o.o.
Ul. Czarna Droga 29
03-620 Warszawa

Tel; +48 22 519 40 70

e-mail: toropol@toropol.pl

<http://www.toropol.pl>