

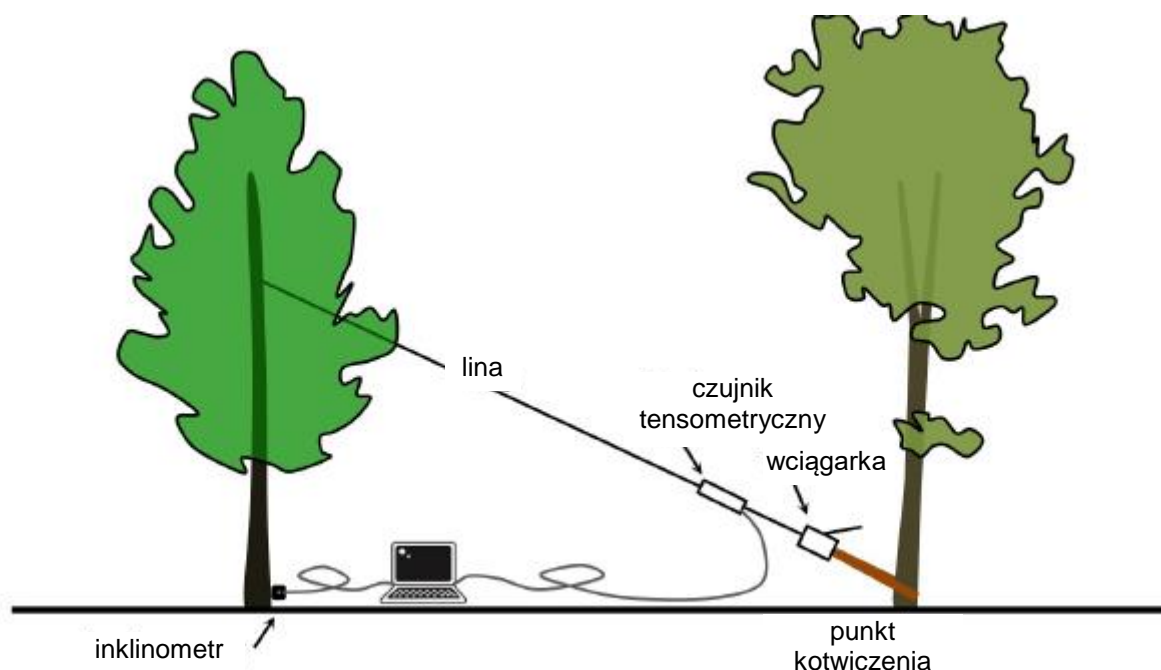
## Próba wrywania FAKOPP

### 1. Wstęp

Stabilność drzew w terenie zurbanizowanym ma zawsze kluczowe znaczenie. Chore i niestabilne drzewa w miastach stwarzają duże zagrożenie i mogą być źródłem zobowiązań władz miejskich w razie wypadku. Ocena stabilności drzewa ma więc najwyższe znaczenie. Jednocześnie w wielu obszarach jest ona bagatelizowana.

Aktualnie, do oceny bezpieczeństwa i stabilności drzew najczęściej stosuje się metodę wrywania. Uwzględnia ona zastosowanie obciążenia wyginającego na pień za pomocą zaczepionej do niego liny. Metoda może być wykorzystana do oceny stabilności podczas wrywania drzewa (w pomiarze nachylenia dolnej części pnia) lub określenia ryzyka pęknięcia pnia (w pomiarze naprężeń wyginających z ekstensometrami przymocowanymi do pnia). Obie metody omówiono w skrócie poniżej.

### 2. Próba wrywania do oceny ryzyka wywrotu



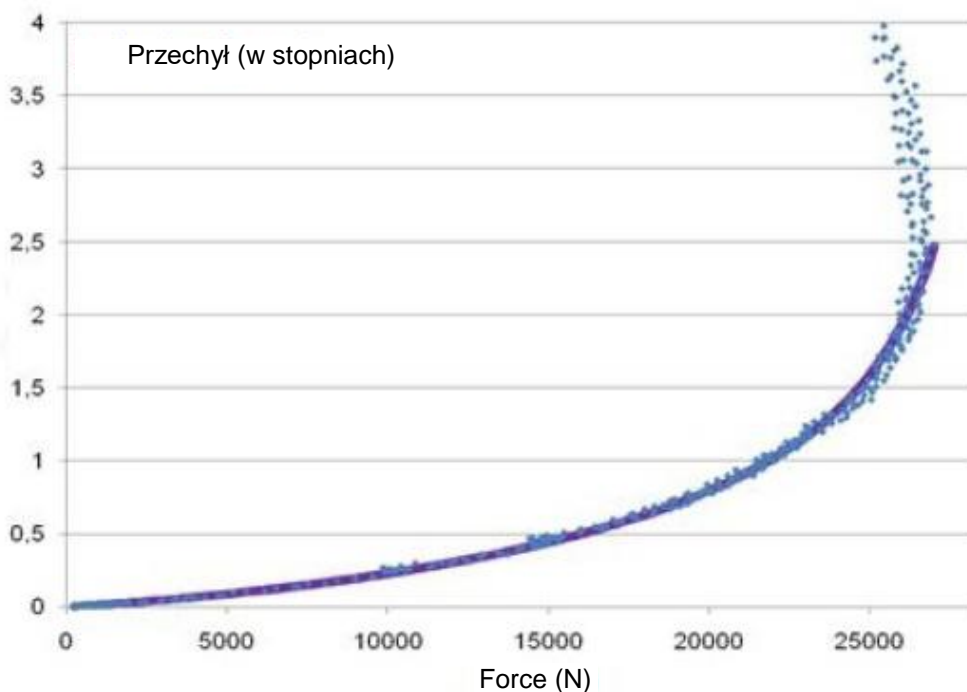
Próba wrywania uwzględnia przymocowanie liny w około połowie wysokości badanego drzewa i przyłożenie średniego obciążenia, przy pomiarze nachylenia u podstawy pnia. Wywołane nachylenie jest nieznaczne (poniżej  $0,25^\circ$ ), aby upewnić się, że sama próba nie uszkodzi drzewa i nie zainicjuje jego wywrotu.

Lina jest przymocowana do drzewa mniej więcej w połowie wysokości korony. Procedura wymaga więc zwykle zastosowania drabiny lub wejścia na drzewo na odpowiednią wysokość. Metalowa lina o odpowiedniej wytrzymałości przymocowywana jest do pnia. Aby nie uszkodzić drzewa, stosuje się przy mocowaniu miękkie pasy. Drugi koniec liny podłączony jest do wciągarki zainstalowanej stabilnie w punkcie kotwiczenia. Punkt kotwiczony można znajdować się na obiekcie, który jest zabezpieczony w gruncie, najczęściej pień lub dolna część innego drzewa. W przypadku wykorzystania innego drzewa, zachować ostrożność, aby nie uszkodzić kory (stosowanie miękkich lin lub pasów).

Wciągarka powoduje naprężenie liny. Czujnik tensometryczny przymocowany do liny mierzy obciążenie naprężające. Ponieważ lina prowadzona jest pod kątem, obliczana jest składowa pozioma obciążenia służąca do wykonania oceny. Przykładane jest stosunkowo umiarkowane obciążenie, aby uniknąć uszkodzenia pnia lub zainicjowania wywrotu. Obciążenie jest mierzone w sposób ciągły, a wynik jest przesyłany do systemu rejestracji i oceny w komputerze.

Ocena ryzyka wyrwania drzewa wymaga danych przechyłu i obciążenia. Przechył jest mierzony na szyjce pnia. Inklinometr zapewnia dokładne wyniki pomiarów pochylenia wykonywane z odpowiednią częstotliwością. Dane są również przesyłane do komputera, w którym realizuje się zapis i ocenę jednocześnie z pomiarami obciążenia.

Zapisane dane obciążenia i pochylenia wyznaczają krzywą przechyłu:



Krzywą podsumowuje ogólna funkcja:

$$\varphi = \frac{1}{3} \tan \left( \frac{100}{73.85} \frac{F}{F_{max}} \right) + \frac{1}{3} \left( \frac{F}{F_{max}} \right)^2 - \frac{1}{10} \left( \frac{F}{F_{max}} \right),$$

gdzie:

- $\varphi$  - pochylenie na szyjce korzenia,
- $F$  - obciążenie poziome,
- $F_{max}$  - maksymalne obciążenie poziome

Zestawienie powyższego równania z danymi pomiarów obciążenia i pochylenia, możliwe jest oszacowanie parametru  $F_{max}$ , poziomego obciążenia wymaganego do wyrwania drzewa, a z kolei  $F_{max}$  pozwala na obliczenie  $M_{max}$ , czyli maksymalnego momentu, który drzewo wytrzyma bez ryzyka wyrwania korzeni:

$$M_{max} = F_{max} h,$$

gdzie  $h$  jest wysokością, na której lina jest przymocowana do drzewa.

W oparciu o  $M_{max}$  można obliczyć ryzyko wyrwania przy danej prędkości wiatru. Moment działający na drzewo przy określonej prędkości wiatru obliczany jest ze wzoru:

$$M_{wind} = A \frac{\rho}{2} v^2 c_w h_{cr},$$

gdzie:

- A - powierzchnia korony
- $\rho$  - gęstość powietrza
- v - prędkość wiatru
- $c_w$  - współczynnik oporu aerodynamicznego
- $h_{cr}$  - wysokość w środku korony

Współczynnik oporu jest stałą, zależną od gatunku drzewa. Wartości współczynnika oporu przedstawiono na końcu dokumentu (w oparciu o dane Wessoly and Erb 1998).

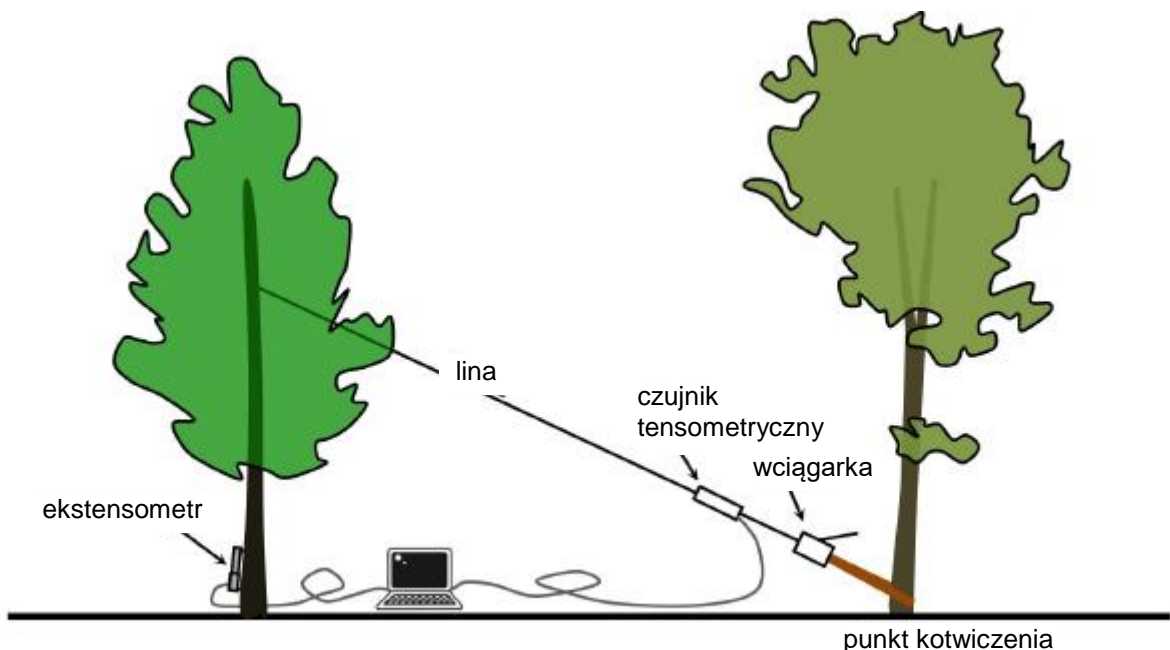
Porównując  $M_{wind}$  do  $M_{max}$ , można obliczyć tzw. współczynnik bezpieczeństwa (SF), który wskazuje prawdopodobieństwo, że drzewo zostanie wyrwane przy danej prędkości wiatru:

$$SF = \frac{M_{max}}{M_{wind}}$$

Jeżeli wartość SF przekracza 1,5, drzewo nie stanowi zagrożenia, natomiast wynik poniżej 1 sygnalizuje wysokie ryzyko. Wartości pośrednie oznaczają umiarkowane ryzyko wyrwania.

### 3. Próba wrywania do oceny ryzyka złamania pnia

Podczas kołysania, pień drzewa jest wyginany. Jeżeli obciążenie wiatrem jest bardzo wysokie, nadmierne wyginanie może prowadzić do trwałych uszkodzeń, a nawet złamania pnia, pomimo wystarczająco silnych korzeni opierających się wyrwaniu. Jest to szczególnie prawdopodobne w przypadku pni, które są schorwane, wypełnione pustkami lub uszkodzone w inny sposób. Próba bezpieczeństwa pnia została zaprojektowana do oceny bezpieczeństwa drzewa w opisywanym zakresie.

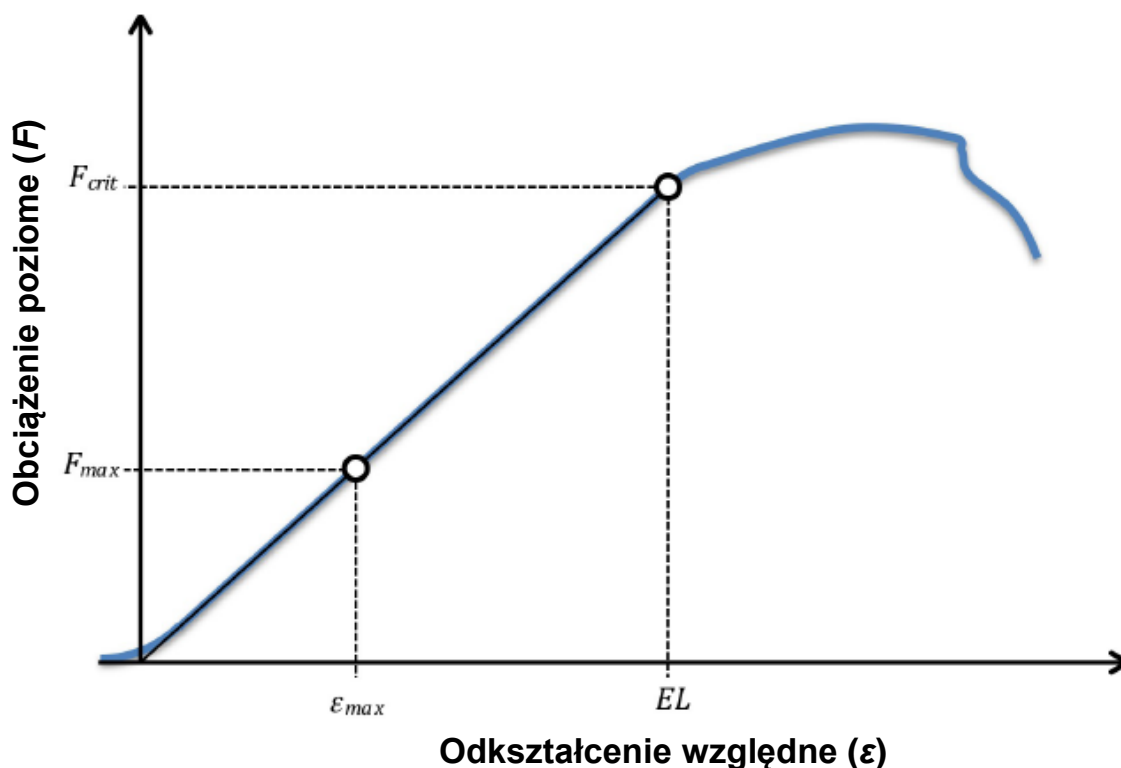


Ocena bezpieczeństwa pnia jest techniką bardzo podobną do oceny ryzyka wyrwania korzeni, jednak z tym wyjątkiem, że tutaj wykonywany jest pomiar odkształcenia pnia. W czasie próby wrywania, pień jest wyginany. Wyginanie powoduje ścisnienie i wydłużenie pnia na stronie najbliższej do i najdalszej od liny,

odpowiednio. Pomiar zakresu takiego odkształcenia na jednej lub obu stronach umożliwia prognozowanie bezpieczeństwa drzewa w odniesieniu do ryzyka uszkodzeń pnia.

Procedura badania jest prawie identyczna, jak badanie wytrzymałości na wyrwanie, jednak w tym przypadku zamiast inklinometru wykorzystywany jest ekstensometr po stronie ściskania lub naprężania pnia (lub najlepiej po obu stronach). Dane obciążenia i deformacji są zbierane i analizowane przez oprogramowanie komputerowe.

Bezpieczeństwo pnia określane jest w oparciu o tzw. limit elastyczności liniowej (EL). Przy wygięciu drzewa, deformacja do pewnego punktu przebiega liniowo. Co ważniejsze, odkształcenie takie nie jest trwałe, bez wywoływania trwałych uszkodzeń pnia do tego punktu. Omawiany limit bezpieczeństwa dla odkształceń względnych jest nazywany limitem elastyczności liniowej (EL).



Limit elastyczności liniowej jest stałą, która zależy od gatunku drzewa (patrz tabela na końcu dokumentu). Podobnie jak w przypadku próby wyrwania, odkształcenie wywołane podczas wyrwania ( $\epsilon_{max}$ ) znajduje się znacznie poniżej limitu elastyczności. Na podstawie danych pomiarowych obciążenia liniowego i deformacji, możliwa jest ekstrapolacja obciążenia krytycznego ( $F_{crit}$ ) wymaganego do osiągnięcia limitu EL.

Po osiągnięciu obciążenia krytycznego, kalkulacja współczynnika bezpieczeństwa jest bardzo podobna do kalkulacji bezpieczeństwa korzeni:

$$M_{crit} = F_{crit} h,$$

oraz

$$SF = \frac{M_{crit}}{M_{wind}},$$

gdzie  $M_{wind}$  jest obliczane w ten sam sposób, jak w przypadku obliczeń wytrzymałości na wyrwanie korzeni, a klasyfikacja współczynnika bezpieczeństwa (SF) nie zmienia się, tj. jeżeli wynik jest wyższy niż 1,5, drzewo nie stanowi zagrożenia, a wartości poniżej 1 sygnalizują podwyższone ryzyko. Wartości pośrednie stanowią ryzyko umiarkowane.

#### 4. Wyposażenie FAKOPP do próby wrywania



System do badań wytrzymałości na wrywanie służy do oceny obu parametrów opisanych powyżej. Elementy wyposażenia, procedurę badania i istotne zalecenia opisano poniżej:

##### 4.1. Elementy systemu

###### *Lina i wciągarka*

System zawiera linę metalową 20 m (65 stóp) o wysokiej wytrzymałości podłączoną do ręcznie obsługiwanej wciągarki o sile 1,6 t (opcjonalnie 3,2 t). Wciągarka posiada mechanizm zapadkowy, który pozwala na zwiększanie siły operatora, aby odpowiednio naprężyć linę. Lina i wciągarka uzupełnione są o haki bezpieczeństwa i dwa miękkie pasy do mocowania na drzewie i w punkcie kotwiczącym.

###### *Czujnik tensometryczny*

- kalibrowany czujnik obciążenia podłączany do liny, 5t
- zewnętrzny wyświetlacz Rinstrum
- połączenie szeregowo z jednostką centralną
- częstotliwość próbkowania: 1 Hz
- klucz sześciokątny, 6 mm
- 4x akumulatorowe baterie AA + ładowarka





### *Inklinometr*

- Czujnik nachylenia, ST-015
- Pas z naciągaczem
- Płyta montażowa czujnika
- Zewnętrzna bateria ze źródłem sygnału Bluetooth
- Dwuosiove urządzenie poziomujące
- Bateria akumulatorowa 9V + ładowarka
- Zakres pomiarowy  $\pm 2$  stopnie
- Rozdzielczość: 0,001 stopnia
- Kompensacja temperatury
- Częstotliwość próbkowania: 10 Hz
- Montaż za pomocą jednej śruby
- Napięcie i prąd roboczy: 12V, 20 mA
- Odporność pogodowa, IP65



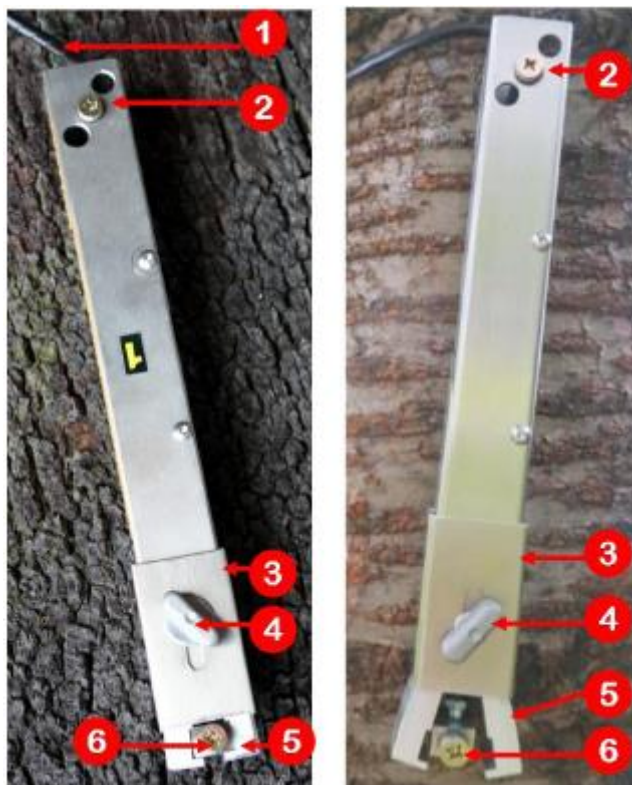
### *Ekstensometry*

System obejmuje dwa ekstensometry LVDT montowane na pniu drzewa. Sygnał jest wysłany do jednostki centralnej za pośrednictwem modułu interfejsu. Parametry ekstensometrów:

- Ekstensometry LVDT
- Wymiary: 30x30x270 mm (zamknięty)
- Zakres: 250 mm
- Częstotliwość próbkowania:

- Źródło zasilania

Uwaga: stałe kalibracyjne wskazano na dostarczonej karcie kalibracyjnej i wprowadzono do oprogramowania przy pierwszym użyciu urządzenia.



#### Oprogramowanie FAKOPP do próby wrywania

- Oprogramowanie na komputer PC z systemem Windows 7 lub wyższym
- Obciążenie jednoczesne, pomiary nachylenia i wydłużenia
- Generowanie krzywej obciążenie-przechył i obciążenie-odkształcenie
- Automatyczna kalkulacja współczynnika bezpieczeństwa dla oznaczania wytrzymałości na wrywanie korzeni i złamanie pnia
- Jednoczesna obsługa 1 inklinometru i 2 ekstensometrów
- Ręczne wprowadzanie współczynnika oporu aerodynamicznego i limitu elastyczności
- Ciągłe doskonalenie oprogramowania
- Najnowsza wersja do pobrania ze strony fakopp.com

#### 4.2. Obsługa

##### Konfiguracja wyposażenia do próby

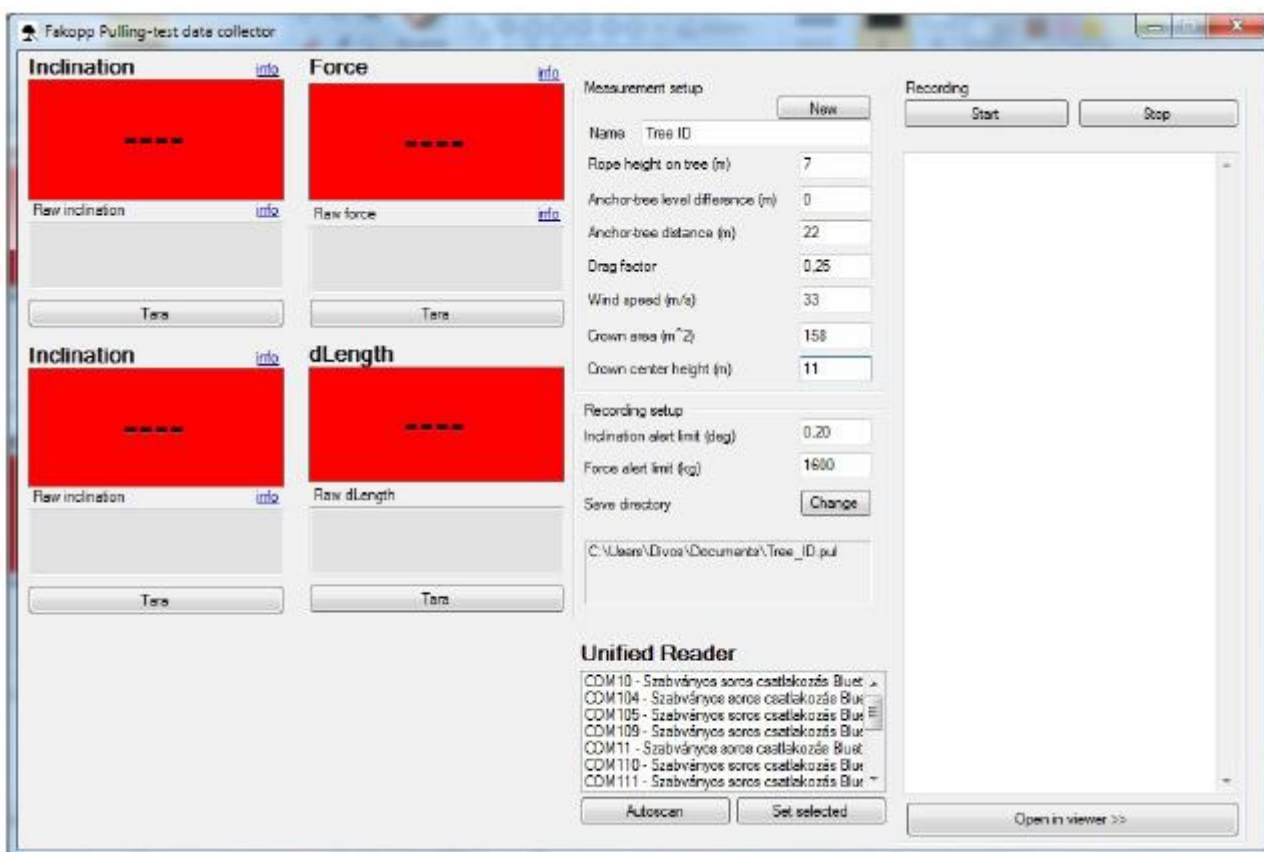
- Przymocować linę do pnia w strefie korony, możliwie wysoko. Jeżeli pracownik jest wyższy niż pień, przymocować ją do silnej, centralnie zlokalizowanej gałęzi. Aby nie uszkodzić kory, zastosować miękki pas.
- Wybrać punkt zakotwiczenia w odpowiednim kierunku, ok. 10 - 15 m od drzewa.
- Podłączyć wciągarkę i liny zgodnie z instrukcją. Przestrzegać zasad bezpieczeństwa!
- Korzystając z klucza sześciokątnego, zainstalować czujnik tensometryczny. Unikać nadmiernego dokręcania śrub! Wybrać optymalne położenie względem podłoża, w wystarczającej odległości od wciągarki.  
Podłączyć ogniwo obciążnikowe do zewnętrznego wyświetlacza i jednostki centralnej.

- Przymocować pierwszą płytkę montażową inklinometru do pnia drzewa, możliwie blisko podłoża, korzystając z pasów z naciągaczami. Jeżeli w pniu znajdują się martwe obszary, położenie inklinometru może wpływać na wyniki. Podczas montażu urządzenia omijać strefy martwe.
- Przymocować czujnik inklinometru i wypoziomować go stosując dwuosiowe urządzenie do poziomowania.
- Zainstalować baterię i uruchomić inklinometr. Podłączyć moduł baterii do jednostki centralnej.
- Opcjonalnie, powtórzyć procedurę dla drugiego inklinometru.
- Przymocować pierwszy ekstensometr do pnia drzewa. Wybrać najbliższy region (w oparciu o kontrolę wzrokową). Dokręcić śrubę górną (2) i dolną (6) unikając poluzowania klamry mocującej. Następnie poluzować śrubę motylkową (4) i przesunąć w górę kołnierz (3) zwalniając klamrę (5) i w ten sposób umożliwiając swobodne ustawianie ekstensometru.
- Opcjonalnie, powtórzyć procedurę dla drugiego ekstensometru.
- Uwaga: Ekstensometry zainstalować na stronie naprężania lub ściskania pnia (tj. po stronie najbliższej do lub najdalszej od punktu kotwiczenia, odpowiednio), lub, po obu stronach, jednak nie w innej pozycji dookoła pnia!
- Podłączyć przewody ekstensometrów do podwójnego modułu elastomerowego, a ten z kolei do jednostki centralnej.
- Włączyć urządzenia i nacisnąć przycisk tarowania na czujniku tensometrycznym.
- Uruchomić oprogramowanie Fakopp do próby wrywania.



## Przebieg badania

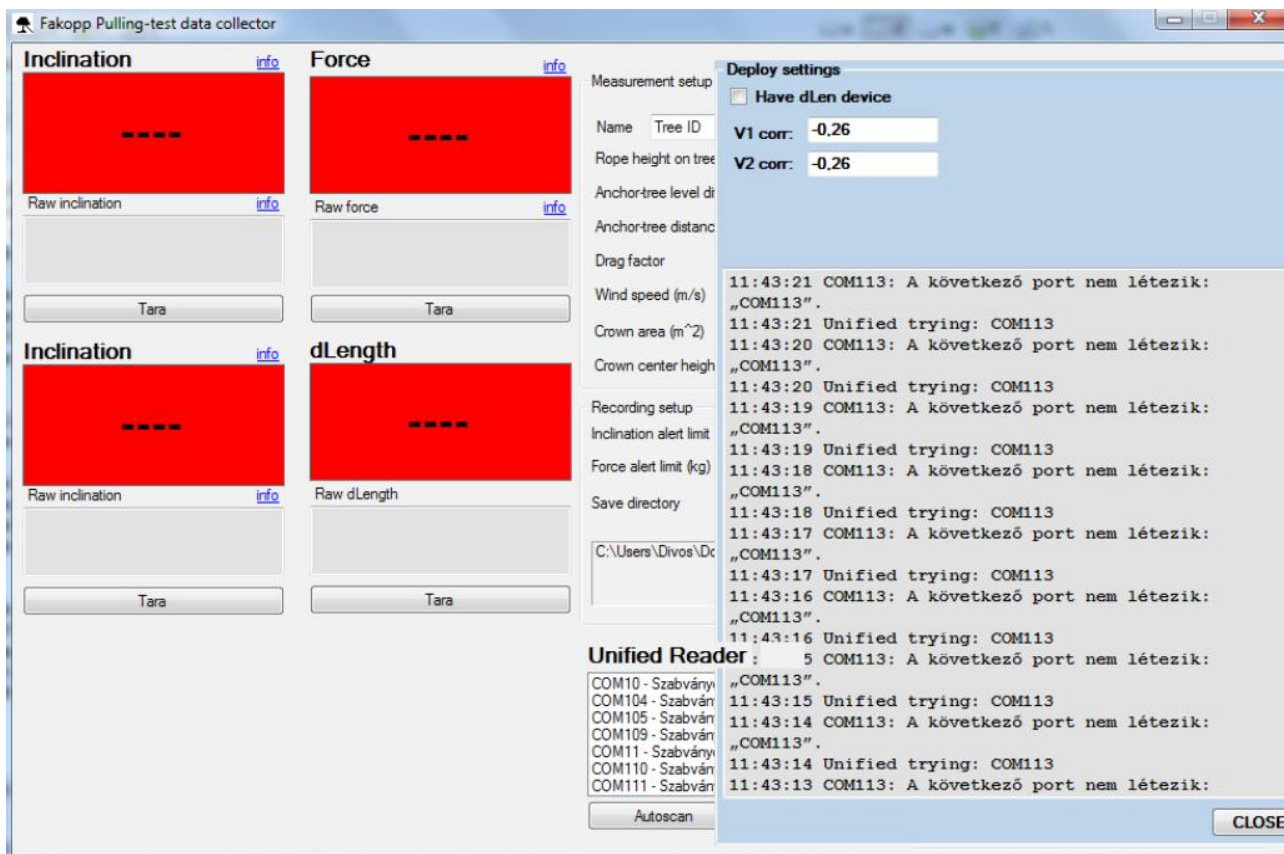
1. **Ustawienie portu COM:** Gdy diody LED migają - kolor w programie jest zielony! Zapewniono możliwość podłączenia zasilania zewnętrznego, jednak zwykle zasilanie przez USB jest wystarczające. Po podłączeniu elementów, komputer przypisuje port komunikacyjny (COM) do jednostki centralnej systemu do prób wrywania. Oprogramowanie identyfikuje port COM automatycznie, jednak może to być czasochłonne, jeżeli w przeszłości do komputera podłączano wiele różnych urządzeń. W takim przypadku może być wymagane ręczne ustawienie portu COM przed uruchomieniem programu. Można to wykonać w Menedżerze Urządzeń (wybrać polecenie "Porty").
2. **Konfiguracja programu:** Uruchomić program PullingCollect.exe. Wyświetlone zostanie poniższe okno:



Odnaleźć port komunikacji jednostki centralnej. Automatyczne wyszukiwanie uruchamiane jest po naciśnięciu przycisku Autoscan (Automatyczne skanowanie). Jednostka centralna powinna być wcześniej podłączona do komputera. Automatyczne skanowanie może być czasochłonne w przypadku skanowania wielu portów, tj. jeżeli w przeszłości do komputera podłączano wiele różnych urządzeń. W takim przypadku, ułatwieniem jest zlokalizowanie portów ręcznie w Menedżerze Urządzeń i wybór odpowiedniego portu z listy. Następnie kliknąć "Zastosuj wybrany port". Po odnalezieniu jednostki centralnej i odebraniu odczytów, czerwone diody LED przy portach komunikacyjnych zaczynają szybko migać, czerwone pola z wynikami na ekranie zmieniają kolor na zielony, a użytkownik może odczytać wartości. Każdą wartość można tarować odpowiednim przyciskiem.

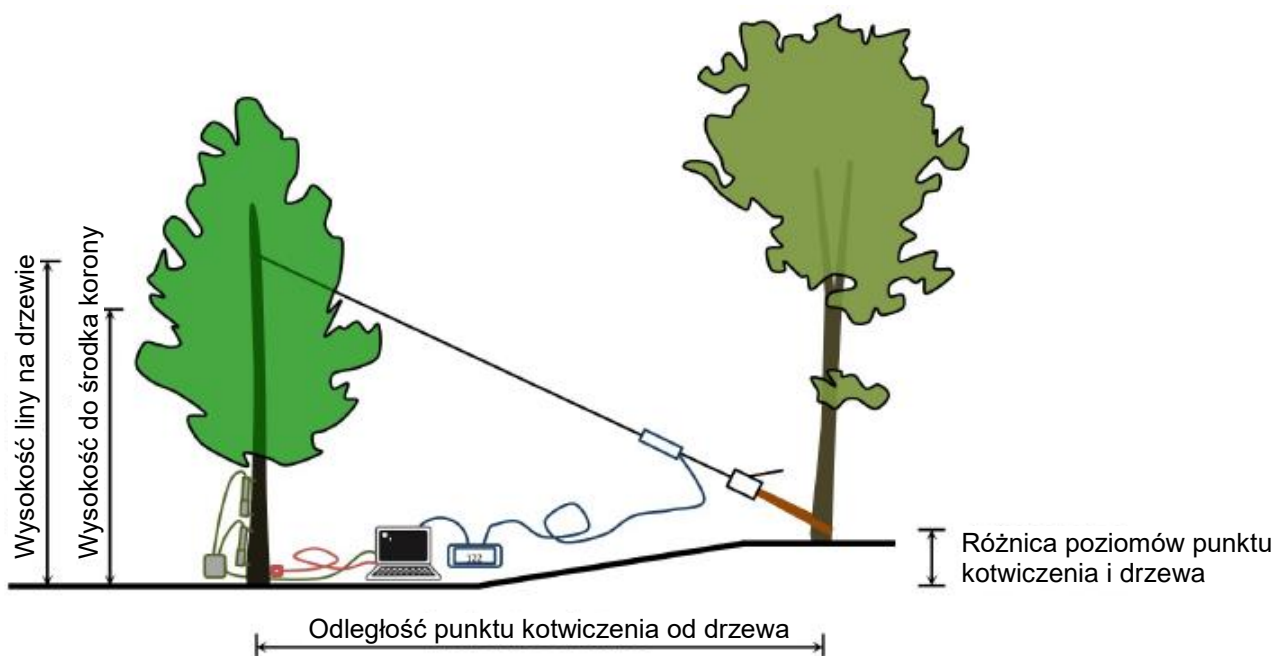
Przy pierwszym podłączaniu ekstensometru lub po naprawach i kalibracjach, wpisać stałą kalibracyjną obu ekstensometrów. W oknie konfiguracji znajduje się ukryty przycisk poniżej przycisku "Open in viewer" (Otwórz w przeglądarce). Kliknąć w opisywanym obszarze, aby uzyskać dostęp do poniższych ustawień:

Wpisać stałą kalibracyjną ekstensometru nr 1 i nr 2 (V1 corr i V2 corr, odpowiednio). Stałe są podane na certyfikatach wzorcowania. Unikać zmiany wartości ekstensometrów. Pamiętać o odpowiednim znaku (dodatni dla ściskania, ujemny dla rozciągania)!



Jeżeli znak będzie nieprawidłowy, jeden lub oba wykresy dLen mogą prowadzić do wskazania ujemnych odkształceń. W takim przypadku wrócić do okna konfiguracji i zmienić znak stałej(-ych). Powtórzyć pomiar. Program zapamiętuje stałą kalibracyjną, więc nie trzeba jej wprowadzać ponownie (wyjątkiem jest nowy ekstensometr, wykonane naprawy lub nowa kalibracja).

Na koniec wpisać parametry badania. Parametry geometryczne:



(Parametry geometryczne wymagane są do obliczeń kąta liny wrywającej, składowej poziomej siły wrywającej i momentu. Wysokość do środka korony służy do obliczeń obciążenia wiatrem.)

Parametry badania obejmują również współczynnik oporu aerodynamicznego i limit elastyczności. Są one charakterystyczne dla danego gatunku drzew. Współczynniki oporu aerodynamicznego i limity elastyczności gatunków podano na końcu dokumentu. (UWAGA: limit elastyczności specyfikuje się jako %, ale wprowadza jako ‰, tj. należy pomnożyć wartość z tabeli przez 10). Wpisać również prędkość wiatru do obliczeń współczynnika bezpieczeństwa i szacowaną powierzchnię korony ( $m^2$ ). Na koniec można wybrać nazwę pliku i zmienić folder do zapisywania plików. Parametry badania można również wpisywać i zmieniać na późniejszym etapie.

Uwaga: podczas wprowadzania wartości ułamkowych stosować znak kropki. Program nie przyjmuje znaku przecinka.

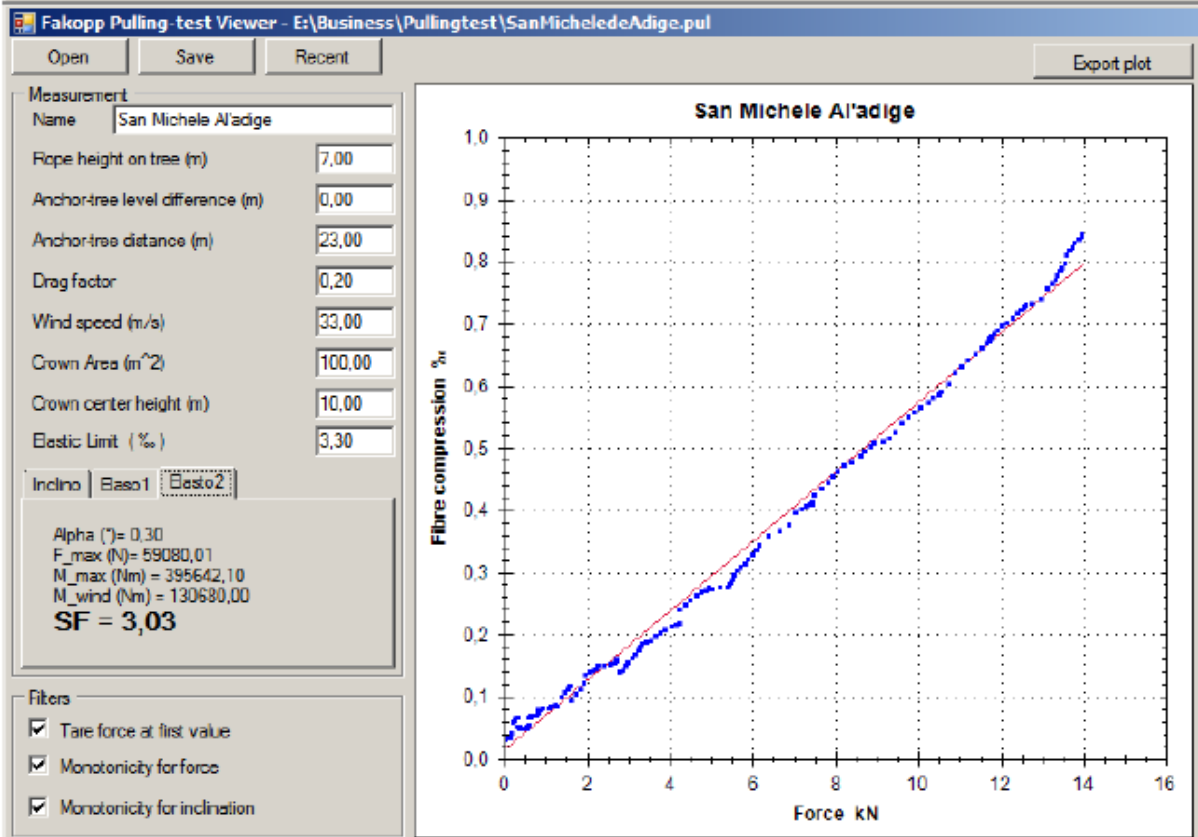
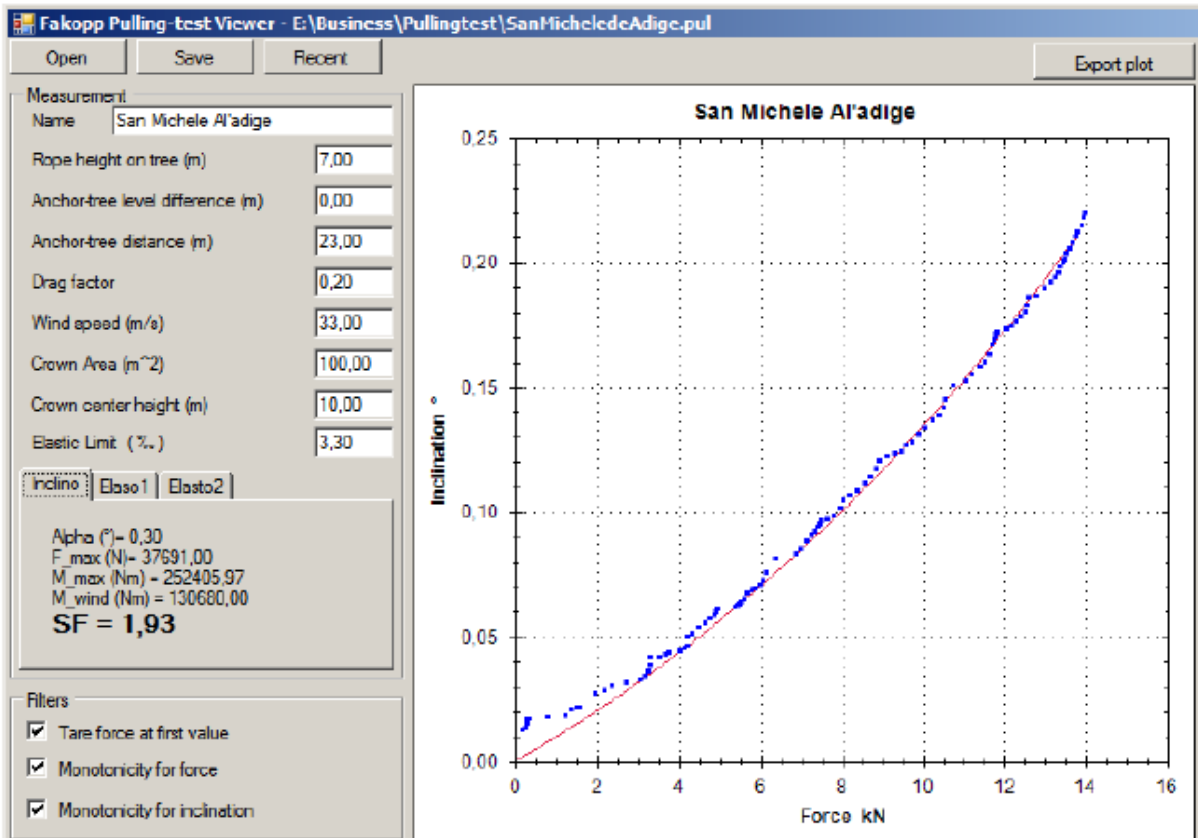
### 3. Badanie

Po zakończeniu konfiguracji można rozpocząć badanie. Uruchomić program w przeglądarce przyciskiem "Open in viewer »". Można rozpocząć pomiary. Zaleca się zacząć od umiarkowanego obciążenia i sprawdzić krzywe odkształceń ('Elasto1', 'Elasto2', aby potwierdzić prawidłowe wprowadzenie stałych kalibracyjnych. W przypadku ujemnej wartości ściskania włókien, przerwać pomiary, otworzyć okno konfiguracji i zmienić znak stałej kalibracyjnej.

Powoli i równomiernie naciągać linę za pomocą wciągarki. Obciążać linę w sposób ciągły do momentu osiągnięcia 0,2 stopnia przechyłu lub uciążu wciągarki, w zależności od tego, co następuje wcześniej. Maksymalne nachylenie i obciążenie można ustawić w oknie konfiguracji. Po osiągnięciu jednego z powyższych parametrów, program generuje dźwięk ostrzegawczy. Przestrzeganie limitów wyeliminuje zagrożenia i ryzyko uszkodzenia pnia. W przypadku silnie zbutwiałego pnia, kontrolować również ściskanie włókien, aby nie osiągać limitu elastyczności. (uwaga: program nie ostrzega o nadmiernym odkształceniu; operator powinien kontrolować je osobiście!)

**Pamiętać o przestrzeganiu zasad bezpieczeństwa aż do zakończenia badania!**

Przeglądarka pozwala na wczytywanie krzywych obciążenie-przechył i obciążenie-odkształcenie w czasie rzeczywistym:



Krzywe inklinometru i dwóch ekstensometrów można przełączać za pomocą zakładek pod parametrami badania. Program automatycznie dopasowuje prawidłową funkcję tangens i proste linie trendów dla danych nachylenia i odkształcenia, odpowiednio. Oblicza on również parametry statystyczne i współczynnik bezpieczeństwa w oparciu o każdy pomiar.



Na koniec badania kliknąć Save (Zapisz), aby zakończyć zbieranie danych. Dane zostaną zapisane w formacie umożliwiającym późniejsze otwieranie w oknie przeglądarki.

4. **Po zakończeniu testów**, wyłączyć wszystkie czujniki, odpiąć wciągarkę i zdemontować czujniki i liny. Pamiętać o przestrzeganiu zasad bezpieczeństwa!

#### 4.3. Ocena danych

Po zakończeniu testu można natychmiast stwierdzić, czy drzewo nie stanowi zagrożenia (na podstawie współczynnika SF). Jeżeli wartość SF przekracza 1,5, drzewo nie stanowi zagrożenia, natomiast wynik poniżej 1 sygnalizuje wysokie ryzyko. Wartości pośrednie oznaczają umiarkowane ryzyko wyrwania. Oddzielnie obliczane są wartości SF dla wyrwania korzenia (nachylenie) i dla każdego ekstensometru. (Wartości SF oparte na ekstensometrach informują o bezpieczeństwie tylko w odcinku zamontowania czujnika.) Należy pamiętać, że współczynnik SF zależy od wprowadzonej wartości wiatru; drzewo uznane za bezpieczne przy danej sile wiatru może być już niebezpieczne przy innym wietrze!

Uwaga: punkty danych próby wyrwania zwykle pokrywają się bardzo dokładnie z krzywą i linią trendu. W przypadku braku pokrycia krzywych, wyniki i obliczony współczynnik SF należy uznać za niepewne. Zwykle ma to miejsce w sytuacji, gdy podczas badania występuje silny wiatr. Odrzucić takie wyniki i powtórzyć badanie po obniżeniu się siły wiatru.

Zapisany pomiar można otworzyć w oknie przeglądarki do oceny w późniejszym czasie. Aby przeglądać wcześniejsze wyniki, użyć polecenia Open (Otwórz) lub Recent (Ostatnio otwierane). Po otwarciu pliku z pomiarami (lub po zakończeniu badania), wyniki można również eksportować w formacie CVS (rozdzielany przecinkami), który można otwierać w programie arkuszy kalkulacyjnych (np. MS Excel).

#### 4.4. Zasady bezpieczeństwa

Podczas próby wyrwania stosowane mogą być wysokie obciążenia osiągające nawet 3,2t. Próba badania może stwarzać zagrożenia, jeżeli nie będą przestrzegane podstawowe zasady. Uszkodzenie liny może spowodować poważne uszkodzenie ciała, dlatego należy postępować zgodnie z poniższymi wytycznymi bezpieczeństwa:

1. Prowadzący zespół wykonujący próbę wyrwania odpowiada za bezpieczne przeprowadzenie testu.
2. Próbę wyrwania może wykonywać wyłącznie przeszkolony personel.
3. Urządzenie do próby wyrwania, a także pasy liny i wciągarka, muszą być wolne od uszkodzeń. Sprawdzić wyposażenie pod kątem uszkodzeń przed rozpoczęciem badania.
4. Wszystkie urządzenia powinny być zabezpieczone przed wilgocią, mrozem i długim narażeniem na działanie promieni słonecznych.
5. Strefa prac powinna być odcięta od strefy użytku publicznego. Pod liną i nad liną nie mogą przebywać osoby nieupoważnione.
6. Zespół wykonujący próbę wyrwania powinien przebywać przynajmniej 2m od liny (wyjątkiem jest operator wciągarki).
7. Powyżej obciążenia 1 kN, operator wciągarki powinien użyć długiego ramienia i ustawić się możliwie daleko od liny.
8. Sprawdzić drogę ewakuacji z obszaru prac do strefy bezpiecznej. W przypadku niespodziewanej sytuacji, np. złamania drzewa lub zerwania liny, natychmiast udać się do miejsca schronienia.
9. Próbę wyrwania zatrzymywać po osiągnięciu przechyłu 0,2 stopnia.
10. Przestrzegać wszystkich zasad bezpieczeństwa wymienionych w instrukcji obsługi wciągarki.
11. Próba wyrwania nie może być wykonywana podczas opadów deszczu i przy ujemnych temperaturach.

**WAŻNA UWAGA:** Wyposażenie do prób wyrwania, wraz z pasami, linami i wciągarką, jest zapewniane przez zewnętrznego dostawcę.

**Spółka Fakopp Enterprise Bt. nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek uszkodzenia ciała i wyposażenia wynikające z działań związanych z próbą wyrwania!**

**Tabela 1. Tabela parametrów wytrzymałości drzew, Stuttgart (Wessolly aid Erb 1998).**

Gatunek	Moduł elastyczności (N/mm <sup>2</sup> )	Porównywalna wytrzymałość na długości (N/mm <sup>2</sup> )	Limit elastyczności (%)	Zalecany współczynnik oporu aerodynamicznego (c <sub>w</sub> )
<i>Abies alba</i>	9500	15	0,16	0,20
<i>Acer pseudoplatanus</i>	8500	25	0,29	0,25
<i>Acer negundo</i>	5600	20	0,36	0,25
<i>Acer campestre</i>	6000	25,5	0,43	0,25
<i>Acer saccharinum</i>	6000	20	0,33	0,25
<i>Acer saccharum</i>	5450	20	0,37	0,25
<i>Aesculus hippocastanum</i>	5250	14	0,26	0,35
<i>Ailanthus altissima</i>	6400	16	0,25	0,15
<i>Betula pendula</i>	7050	22	0,31	0,12
<i>Chamaecyparis lawsonia</i>	7350	20	0,27	0,20
<i>Cedrus deodora</i>	7650	15	0,20	0,20
<i>Fagus sylvatica</i>	8500	22,5	0,26	0,25-0,30
<i>Alnus glutinosa</i>	8000	20	0,25	0,25
<i>Fraxinus excelsior</i>	6250	26	0,42	0,20
<i>Picea abies</i>	9000	21	0,23	0,20
<i>Picea omorika</i>	9000	16	0,18	0,20
<i>Carpinus betulus</i>	8800	16	0,18	0,25
<i>Castanea sativa</i>	6000	25	0,42	0,25
<i>Cercis siliquastrum</i>	0	15	—	0,20
<i>Larix decidua</i>	5035	17	0,32	0,15
<i>Liriodendron tulipifera</i>	5000	17	0,34	0,25
<i>Pinus pinaster</i>	8500	18	0,21	0,20
<i>Pinus sylvestris</i>	5800	17	0,29	0,15
<i>Platanus x hybrid</i>	6250	27	0,43	0,25
<i>Populus x canescens</i>	6050	20	0,33	0,2-0,25
<i>Populus nigra</i> 'Itálica'	6800	16	0,24	0,30
<i>Populus nigra</i>	6520	20	0,31	0,2
<i>Populus alba</i>	6400	20	0,31	0,2
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1000	20	0,20	0,20
<i>Pyrus communis</i>	5800	17	0,29	0,30
<i>Quercus robur</i>	6900	28	0,41	0,25
<i>Quercus rubra</i>	7200	20	0,28	0,25
<i>Robinia pseudoacacia</i>	7050	20	0,28	0,15
<i>Robinia monophyla</i>	5200	20	0,38	0,15-0,20
<i>Salix alba</i>	7750	16	0,21	0,20
<i>Salix alba</i> 'Tristis'	7000	16	0,23	0,20
<i>Sequoiadendron giganteum</i>	4550	18	0,40	0,20
<i>Sophora japonica</i>	6450	20	0,31	0,15
<i>Sorbus aria</i>	6000	16	0,27	0,25
<i>Tilia x hollandica</i>	4500	17	0,38	0,25
<i>Tilia euchlora</i>	7000	17,5	0,25	0,25
<i>Tilia tomentosa</i>	8350	20	0,24	0,25-0,30
<i>Tilia platyphyllos</i>	8000	20	0,25	0,25
<i>Tilia cordata</i>	8300	20	0,24	0,25
<i>Ulmus glabra</i>	5700	20	0,35	0,25

(Źródło: Wessolly, L., and M, Erb 1998, Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle, Patzer Verlag, Berlin, Niemcy)