



**FAKOPP**

**Test obciążeniowy  
Instrukcja**

Fakopp Enterprise Bt  
November 19, 2024

Tę stronę celowo pozostawiono pustą

## **Spis treści**

|   |    |
|---|----|
| Producent .....   | 1  |
| Wprowadzenie .....  | 2  |
| Elementy systemu .....  | 2  |
| Konfiguracja testu obciążeniowego i niezbędne<br>urządzenia ..... | 5  |
| Procedura pomiaru .....   | 7  |
| Ocena bezpieczeństwa na wywrot .....                              | 8  |
| Ocena bezpieczeństwa pnia .....                                   | 11 |
| Instrukcja konfiguracji .....                                     | 13 |
| Pomiary i oprogramowanie.....                                     | 18 |
| Przewodnik po biomechanice EN1991 .....                           | 26 |
| Załącznik A .....   | 36 |
| Załącznik B .....   | 38 |

## ***Producent***

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Firma                                | Fakopp Enterprise Bt.                                       |
| Numer identyfikacji<br>podatkowej UE | HU22207573  |
| Adres                                | Fenyo 26  |
| Miasto                               | Agfalva   |
| Kod pocztowy                         | 9423  |
| Kraj                                 | Węgry   |
| www                                  | <a href="https://www.fakopp.com">https://www.fakopp.com</a> |
| E-mail                               | office@fakopp.com   |
| Telefon                              | +3630 394 9562  |

**OSTRZEŻENIE!** Należy zachować szczególną ostrożność. Choć oprogramowanie stara się przeliczyć ryzyko, obliczenia współczynnika bezpieczeństwa zawierają uproszczenia, co więcej dane wejściowe mogą zostać zakłócone. Użytkownik ponosi wyłączną odpowiedzialność za zapewnienie, że System jest odpowiedni do użytku, do którego go wykorzystuje, i rozumie, że jest to tylko jeden element niezbędnych do oceny stanu i kondycji drzew. Należy pamiętać, że ten System jest tylko jednym z narzędzi, które należy wykorzystać, wraz z doświadczeniem i przeszkoleniem w zakresie oceny tych żywych organizmów, że nie można polegać na tym Systemie jako jedynym źródle ocen oraz że cały sprzęt i oprogramowanie mogą ulec awarii lub błędnemu użytkowaniu.

## ***Wprowadzenie***

Stabilność drzew miejskich ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa. Drzewa w osłabionej kondycji i niestabilne stwarzają znaczne ryzyko i zobowiązania dla władz lokalnych, co sprawia, że oceny drzew są niezwykle istotne.

Test obciążeniowy jest najbardziej akceptowaną metodą oceny bezpieczeństwa i stabilności systemu korzeniowego. Polega ona na przyłożeniu obciążenia zginającego do pnia za pomocą liny przymocowanej do drzewa. Metoda ta może być wykorzystana do oszacowania siły wyrywającej poprzez pomiar nachylenia (inklinacji) w dolnej części pnia. Dodatkowo można oszacować podatność na złamanie pnia poprzez pomiar naprężenia zginającego za pomocą elastometrów przymocowanych do pnia. Obie metody zostały opisane w instrukcji.

## ***Elementy systemu***

### **Siłomierz**

#### **Siłomierz Kaliber 5t**

- Czujnik wagowy S-Beam
- Limit obciążenia roboczego: 50 kN
- Rozdzielczość: 1 kgf
- Wyświetlacz
- 2 szkle omega
- Może być podłączony do jednostki centralnej lub bezpośrednio do komputera za pomocą kabla USB lub Bluetooth.



## Siłomierz LineScale 3t

- Limit obciążenia roboczego 30 kN
- Zintegrowany podświetlany wyświetlacz graficzny OLED
- Połączenie Bluetooth (BLE) lub kablem USB bezpośrednio z komputerem



## Jednostka centralna

- Zapewnia zasilanie podłączonych komponentów
- Przesyła dane do komputera

Połączenie z:

- 2 inklinometry
- Siłomierz Kaliber
- Skrzynka elastometru
- PC (komputer)



## Inklinometr o wysokiej precyzji

- Pomiar nachylenia przy szyi korzeniowej
- Zakres: +/-30°
- Rozdzielczość: 0,001°
- Połączenie z jednostką centralną



# Elastometr

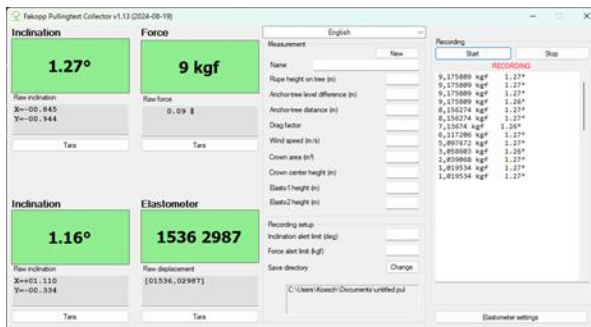
Dane z elastometru można wykorzystać do oszacowania granicy elastyczności pnia.

- Czujniki elastometru mierzą odkształcenie pnia podczas ciągnięcia
  - Zakres: 4 mm
  - Rozdzielczość: 0,001 mm
- Skrzynka elastometru: łączy się z dwoma czujnikami elastometru i jednostką centralną

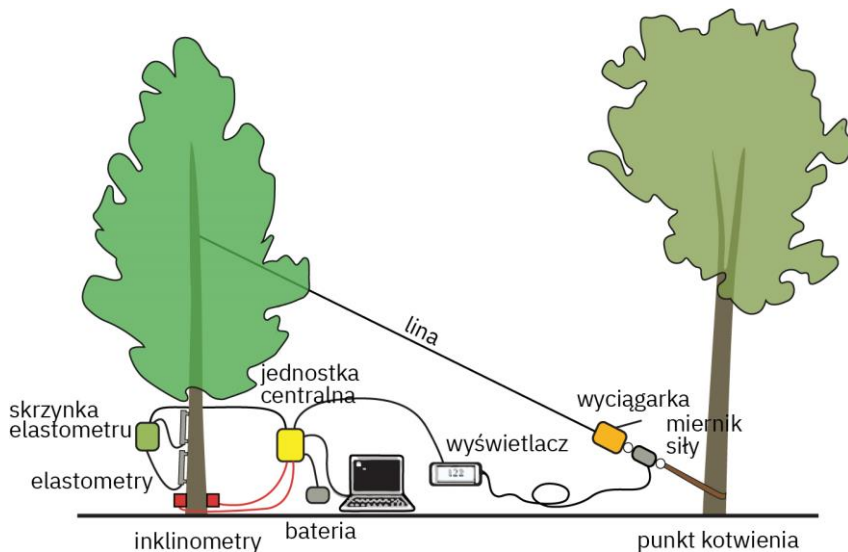


# Oprogramowanie do obliczeń

- Zbiera i zapisuje dane
- Ocena siły wrywania i łamania pnia
- Szacowanie obciążenia wiatrem w oparciu o normę EN1991



## Konfiguracja testu obciążeniowego i niezbędne urządzenia



Rysunek 1: Konfiguracja testu obciążeniowego do oceny korzeni i pnia.

### Urządzenia

- Inklinometry: 2 czujniki
- Skrzynka elastometru + 2 czujniki
- Miernik siły (siłomierz), wyświetlacz
- Jednostka centralna



## Sprzęt

Poniższy sprzęt nie wchodzi w skład produktu Test Obciążeniowy (Pulling Test). Powinien być zapewniony przez użytkownika.

- Wyciągarka
- Lina
- 2 zawiesia węzowe o obwodzie zamkniętym (do owijania wokół drzew)
- Drabina
- Składany stolik (opcjonalnie)
- Laptop PC z co najmniej Windows 10 i oprogramowaniem do Testu obciążeniowego (Pulling Test)



*Rysunek 2: Zawiesie węzowe o obwodzie zamkniętym*



*Rysunek 3: Sprzęt do pomiarów. Uwaga: wyciągarka nie jest częścią produktu, mogą być stosowane także inne typy wyciągarek.*

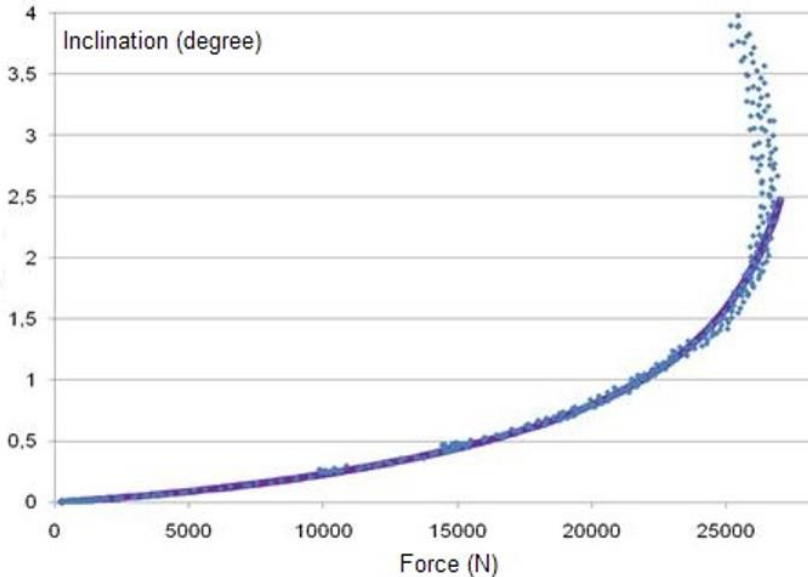
## ***Procedura pomiaru***

Test obciążeniowy obejmuje przymocowanie liny do środka korony badanego drzewa. Następnie przykładane jest umiarkowane obciążenie z jednoczesnym pomiarem wychylenia podstawy pnia (przy szyi korzeniowej). Indukowane wychylenie jest utrzymywane poniżej 0,25 stopnia, aby zapewnić że podczas testu nie dojdzie do uszkodzeń korzeni.

Idealnie, gdy lina jest przymocowana do środka korony. Należy upewnić się, że lina jest przymocowana do pnia w miejscu, w którym przewodnik(i) są wystarczająco mocne, aby wytrzymać obciążenie. Jeśli środek korony nie jest w stanie wytrzymać obciążenia, często mocuje się linę mniej więcej w połowie wysokości drzewa. Zazwyczaj wymaga to użycia drabiny lub wspięcia się na drzewo na odpowiednią wysokość. Lina o odpowiedniej nośności jest następnie mocowana do głównego przewodnika. Aby uniknąć uszkodzenia drzewa, zwykle stosuje się do tego celu zawiesie węzowe (patrz rysunek 2). Drugi koniec liny wchodzi do wciągarki, która jest przymocowana do punktu kotwiczenia. Punktem kotwiczącym może być dowolny obiekt, który jest bezpiecznie przymocowany do podłoża, najczęściej dolna część innego drzewa. Jeśli używane jest inne drzewo, należy uważać, aby nie uszkodzić kory (zazwyczaj także używa się miękkiego pasa, takiego jak zawiesie węzowe).

Wciągarka napina linę. Siłomierz jest podłączony między wciągarką a miękkim pasem w punkcie kotwiczenia i mierzy obciążenie rozciągające. Ponieważ lina jest ustawiona pod kątem, obliczana i wykorzystywana do oceny jest pozioma składowa obciążenia. Obciążenie jest stale mierzone i przesyłane do komputera w celu zapisu i obliczeń.

## Ocena bezpieczeństwa na wywrot



*Rysunek 4: Typowa krzywa wykrotu lub wyrwania z korzeniami*

Ocena bezpieczeństwa w zakresie wywrotu wymaga danych dotyczących nachylenia (Inclination) i siły (Force). Nachylenie jest mierzone na szyi korzeniowej, podczas gdy siła jest mierzona na linie. Oba zestawy danych są przesyłane do komputera w celu zapisu i obliczeń.

## Ogólna krzywa wykrotu

$$\varphi = \frac{1}{3} \tan\left(\frac{100}{73,85} \frac{F}{F_{max}}\right) + \frac{1}{3} \left(\frac{F}{F_{max}}\right)^2 - \frac{1}{10} \left(\frac{F}{F_{max}}\right)$$

*Formuła 1: Ogólna funkcja wykrotu*

Gdzie:

|                 |   |
|-----------------|---|
| $\varphi$ [deg] | nachylenie (inklinacja) przy szyi korzeniowej |
| $F$ [N]         | obciążenie poziome                            |
| $F_{max}$ [N]   | maksymalne obciążenie poziome                 |

Dopasowując ogólną funkcję wykrotu do zmierzonych danych obciążenia i nachylenia, można oszacować  $F_{max}$ , obciążenie poziome wymagane do wywrócenia drzewa. Na podstawie  $F_{max}$  możemy obliczyć maksymalny moment siły ( $M_{max}$ ), który drzewo może wytrzymać bez wywrócenia.

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

Gdzie:

|                |                          |
|----------------|--------------------------|
| $M_{max}$ [Nm] | maksymalny moment siły   |
| $h$ [m]        | wysokość liny na drzewie |

## Prędkość wiatru wywracającego

Na podstawie  $M_{max}$  można obliczyć ryzyko wywrotu drzewa przy danej prędkości wiatru. Moment siły działający na drzewo przy określonej prędkości wiatru oblicza się za pomocą następującego równania.

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

Gdzie:

|                 |                                     |
|-----------------|-------------------------------------|
| $M_{wind} [Nm]$ | moment siły działający na drzewo    |
| $A [m^2]$       | powierzchnia korony                 |
| $\rho [kg/m^3]$ | gęstość powietrza                   |
| $v [m/s]$       | prędkość wiatru                     |
| $C_w$           | współczynnik oporu aerodynamicznego |
| $h_{cr} [m]$    | wysokość środka korony              |

Współczynnik oporu jest stałą zależną od gatunku. Wartości współczynnika oporu podano w Załączniku B (na podstawie Wessoly i Erb, 1998).

Obliczając stosunek  $M_{wind}$  (maksymalny moment siły od wiatru) i  $M_{max}$  (maksymalny moment siły, jaki drzewo może wytrzymać), możemy obliczyć współczynnik bezpieczeństwa – *Safety Factor* (SF). Ten współczynnik określa bezpieczeństwo drzewa.

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

Jeśli współczynnik bezpieczeństwa (SF) wynosi powyżej 1,5, drzewo uznaje się za bezpieczne. Współczynnik SF poniżej 1 wskazuje na wysokie ryzyko, podczas gdy wartości między 1 a 1,5 sugerują umiarkowane ryzyko wywrotu. W przypadku obliczenia wielu

współczynników bezpieczeństwa dla tego samego drzewa, należy użyć najmniejszej wartości.

Test obciążeniowy dostarcza użytecznych informacji na temat bezpieczeństwa korzeni tylko wtedy, gdy szyja korzeniowa (na której umieszczony jest inklinometr) porusza się wraz z korzeniami. Jeśli w szyi korzeniowej występuje znaczny rozkład drewna, połączenie między korzeniami a podstawą pnia może być osłabione, co może prowadzić do potencjalnie mylących ocen współczynnika bezpieczeństwa.

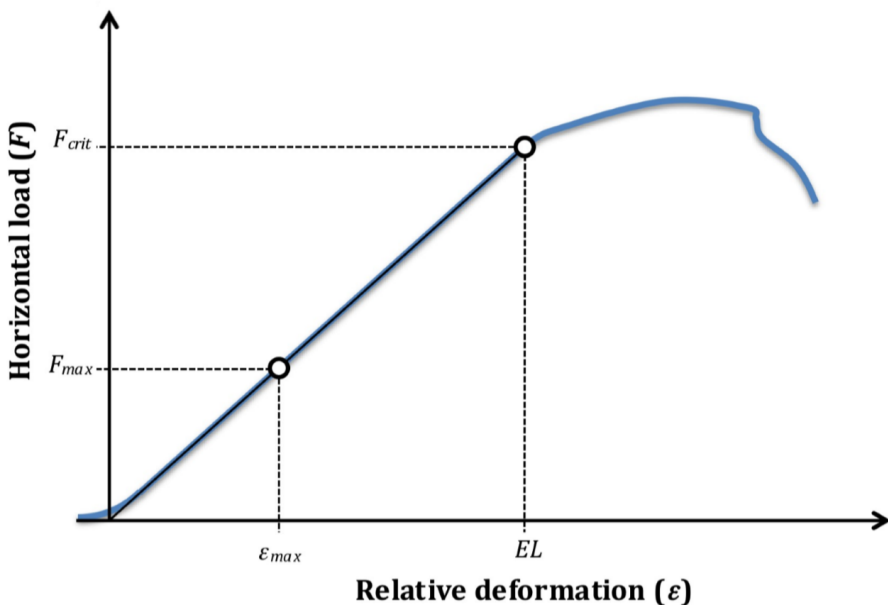
## ***Ocena bezpieczeństwa pnia***

Ocena bezpieczeństwa pnia jest podobna do oceny bezpieczeństwa wywrotu, ale mierzymy odkształcenie pnia drzewa zamiast jego nachylenia. Podczas testu obciążeniowego pień wygina się, powodując ściśnięcie po stronie bliższej liny i wydłużenie po stronie przeciwnej. Mierząc to odkształcenie po jednej lub obu stronach, możemy oszacować ryzyko uszkodzenia pnia.

Procedura testowania jest podobna do określania bezpieczeństwa w zakresie wywrotu, ale używany jest zamiast inklinometru - elastometr po stronie ściskania lub rozciągania (lub po obu stronach) pnia. Dane dotyczące obciążenia i odkształcenia są zbierane i analizowane przy użyciu oprogramowania komputerowego.

Bezpieczeństwo pnia jest określane na podstawie liniowej granicy elastyczności. Kiedy drzewa się wyginają, ich deformacja jest liniowa do pewnego punktu. Co ważniejsze, odkształcenie to nie jest trwałe i do tego momentu nie dochodzi do uszkodzenia pnia. Ten bezpieczny limit względnego odkształcenia nazywamy liniowym limitem elastyczności (EL).

Liniowa granica elastyczności jest stałą, która zależy od gatunku drzewa (patrz tabela w Załączniku B). Zwykle odkształcenie wywołane testem obciążeniowym ( $\epsilon_{max}$ ) pozostaje znacznie poniżej EL.



Po pomiarze uzyskujemy dane dotyczące obciążenia i odkształcenia do punktu  $F_{max}$  i  $\epsilon_{max}$ . Oprogramowanie dopasowuje funkcję liniową do zmierzonych punktów danych. Funkcja ta jest następnie ekstrapolowana do punktu EL, co daje nam obciążenie krytyczne ( $F_{crit}$ ).

Gdy mamy już obciążenie krytyczne, obliczenie współczynnika bezpieczeństwa jest bardzo podobne do tego stosowanego w przypadku bezpieczeństwa dla wywrotu.

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

Gdzie:

|                 |                          |
|-----------------|--------------------------|
| $M_{crit} [Nm]$ | krytyczny moment siły    |
| $F_{crit} [N]$  | krytyczna siła pozioma   |
| $h [m]$         | wysokość liny na drzewie |

Współczynnik bezpieczeństwa to stosunek krytycznego momentu obrotowego ( $M_{crit}$ ) do momentu obrotowego od wiatru ( $M_{wind}$ ).

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

W tym przypadku  $M_{wind}$  oblicza się w taki sam sposób, jak opisano w obliczeniach bezpieczeństwa dla wywrotu, a znaczenie SF jest również podobne. Jeśli SF wynosi powyżej 1,5, drzewo jest bezpieczne, wartość poniżej 1 sygnalizuje wysokie ryzyko, a pomiędzy nimi występuje umiarkowane ryzyko uszkodzenia pnia. Jeśli istnieje kilka współczynników bezpieczeństwa ocenionych dla tego samego drzewa, należy zaakceptować i użyć najmniejszego z nich.

## ***Instrukcja konfiguracji***

### **Lina**

Przymocuj linę do pnia w koronie drzewa, jak najbliżej środka korony. Przymocuj ją do pnia lub mocnego centralnie położonego przewodnika/ konaru. Użyj miękkiego pasa (Rysunek 2), aby uniknąć uszkodzenia kory.



Wybierz punkt kotwiczenia w odpowiednim kierunku od drzewa. Odległość do niego powinna wynosić co najmniej dwukrotność wysokości liny na drzewie, jednak większa odległość jest lepsza, ponieważ chcemy zmaksymalizować poziomą składową siły.

Zamontuj wciągarkę do liny. Postępuj zgodnie z instrukcjami bezpieczeństwa!

## **Siłomierz**

### **Siłomierz Kaliber 5t**

- Zamontuj siłomierz między wciągarką a miękkim pasem przy punkcie kotwiczenia lub na drugim końcu w koronie.
- Podłącz siłomierz do zewnętrznego wyświetlacza
- Podłącz wyświetlacz do jednostki centralnej

### **Siłomierz LineScale 3**

- Podłącz siłomierz między wciągarką a miękkim pasem przy punkcie kotwiczenia lub na drugim końcu w koronie.

## **Inklinometry**

- Zamontuj płytę montażową na pniu drzewa, jak najbliżej poziomu gruntu, używając śrub
- Unikaj umieszczania inklinometrów na obszarach pnia objętych rozkładem drewna
- Zamontuj czujnik inklinometru i wypoziomuj go za pomocą dwuosowego urządzenia poziomującego
- Podłącz inklinometr do jednostki centralnej
- Opcjonalnie, powtórz te czynności dla drugiego inklinometru

# Elastometry



## Montaż elastometru

- Wkręć górną (2) i dolną (6) śrubę bez zwalniania szczęk zabezpieczających.
- Poluzuj śrubę motylkową (4) i przesunij kotnierz (3) w górę, aby zwolnić szczęki (5).
- W tym momencie pręt elastometru (7) powinien być w stanie swobodnie się poruszać

## Pozycjonowanie elastometru

- elastometry należy zawsze umieszczać od strony obciążenia lub z przeciwnej, zawsze w tej samej linii wyznaczonej przez linię
- możliwe miejsca zamontowania:
  - oba po stronie kompresji (ściskania)
  - oba po stronie napięcia (rozciągania)
  - jeden po stronie rozciągania i jeden po stronie ściskania
- wysokość czujnika
  - na podstawie wskaźników wizualnych (oceny wizualnej) spróbuj znaleźć wysokość, która najprawdopodobniej jest słabym punktem pnia
  - maksymalna wysokość to połowa wysokości punktu montażu liny na drzewie

## Podłączenie elastometru



- Podłącz przewody elastometru do jednostki obsługującej dwa czujniki ("elasto box" – skrzynka elastometru).
- Podłącz skrzynkę elastometru do jednostki centralnej
- Upewnij się, że przełącznik na skrzynce elastometru znajduje się w pozycji **Pul**.

## Jednostka centralna i uruchamianie

- Podłącz akumulator do jednostki centralnej
- Włącz jednostkę centralną
- Siłomierz Kaliber: włącz urządzenie i naciśnij "Tara". Siła powinna wskazywać zero. Lina nie powinna być naprężona.
- Siłomierz LineScale: Naciśnij i przytrzymaj czerwony przycisk, aby włączyć urządzenie.
- Na jednostce centralnej każde urządzenie ma w pobliżu portów komunikacyjnych odpowiednią diodę LED, która wskazuje komunikację poprzez migotanie

## Moduł Bluetooth LM048

Można użyć LM048 do zapewnienia połączenia między jednostką centralną a komputerem PC lub między siłomierzem Kaliber a komputerem PC.

- Upewnij się, że LM048 jest przełączony do pozycji DTE
- Aby używać LM048 między komputerem a jednostką centralną, podłącz LM048 do złącza Bluetooth jednostki centralnej.
- Aby używać LM048 między siłomierzem Kaliber a jednostką centralną, podłącz LM048 do złącza Bluetooth siłomierza



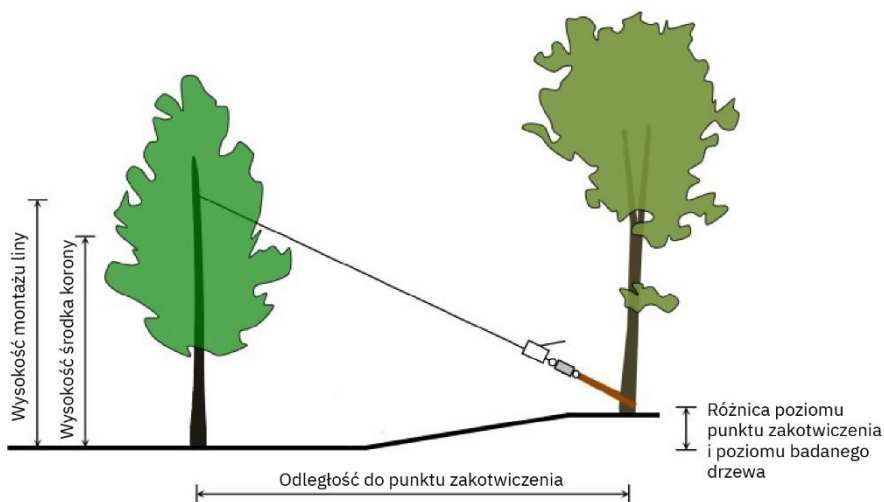
Po podłączeniu z LM048 siłomierz Kaliber nie jest ładowany z jednostki centralnej. Umieść cztery w pełni naładowane baterie AA w wyświetlaczu siłomierza Kaliber. Nie zapomnij wyjąć baterii po zakończeniu testu. Nigdy nie używaj baterii w siłomierzu Kaliber, gdy jest on zasilany z jednostki centralnej.

## *Pomiary i oprogramowanie*

- Upewnij się, że jednostka centralna jest podłączona do komputera.
- Uruchom aplikację PullingCollect, która może być używana do zbierania i zapisywania danych z czujników.

- Obszary odczytu w aplikacji Collector są wyświetlane na czerwonym tle, gdy nie ma żadnych danych.
- Obszary te zmieniają kolor na zielony zaraz po pojawieniu się danych
- Elastometry wyprodukowane przed 2021 r: Wprowadź stałą kalibracji dla obu elastometrów, naciskając przycisk "Ustawienia elastometru".

## Parametry pomiaru



Różnica między poziomem punktu zakotwiczenia a poziomem drzewa powinna być dodatnia, gdy punkt zakotwiczenia znajduje się powyżej poziomu mierzonego drzewa, jak na powyższym rysunku.

Współczynnik oporu jest wartością zależną od gatunku, którą można znaleźć w Załączniku B.

Granica elastyczności jest podana w Załączniku B w procentach (%). Oprogramowanie wymaga jednak wartości w *promilach* (‰). Wprowadzając wartość graniczną elastyczności do oprogramowania, należy pomnożyć ją w tabeli przez 10.

W tym miejscu należy również wprowadzić prędkość wiatru, dla której ma zostać obliczony SF, oraz powierzchnię korony ( $m^2$ ). Na koniec można wybrać nazwę pliku i zmienić folder, w którym pliki są zapisywane. Parametry testu można również wprowadzić lub zmienić później w oknie przeglądarki.

Nie zapomnij ustawić alertów nachylenia i siły oraz użyć „Tara” przed uruchomieniem pomiarów. Program będzie emitować alarm dźwiękowy, gdy zmierzone wartości przekroczą limity. Siłomierz Kaliber może przyjąć obciążenie do 5 ton, ale wciągarki zwykle mogą udźwignąć tylko 1,6 tony lub 3,2 tony. Ustaw limity alarmowe poniżej możliwości najłagodniejszego komponentu, w zależności od tego, który z nich jest najniższy. Na przykład dla wciągarki 1,6 t użyj 1500 kg. Upewnij się, że używasz przycisków „Tara” do wyzerowania urządzeń.

## **Przygotowanie w Pulling Collector**

- Wpisz parametry
- Upewnij się, że wszystkie podłączone urządzenia mają prawidłowe odczyty, a ich obszary odczytu są zielone.
- Ustaw limit alertu nachylenia (Pochylenie) na 0,2 stopnia.
- Ustaw limit alarmu siły (Siła) zgodnie z posiadanym sprzętem: udźwig wciągarki lub udźwig siłomierza, w zależności od tego, która wartość jest niższa. Po osiągnięciu jednej z tych wartości program ostrzeże użytkownika sygnałem dźwiękowym

- Przestrzeganie tych limitów gwarantuje, że w większości przypadków nie ma niebezpieczeństwa trwałego uszkodzenia drzewa. Szczególną ostrożność należy zachować, jeśli drzewo już jest poważnie uszkodzone.

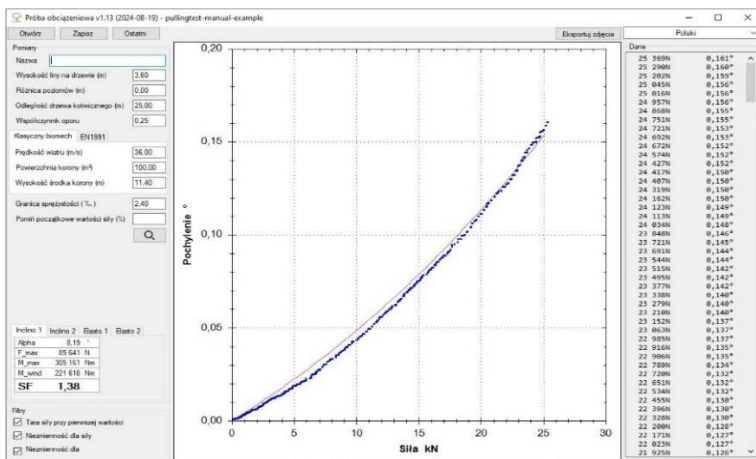
## Pomiar w Pulling Collector

**Upewnij się, że przestrzegasz zasad bezpieczeństwa podczas całego testu!**

- **Wytaruj (Tara) wszystkie urządzenia**
- Kliknij "*Start*"
- Obciążaj linę powoli i równomiernie za pomocą wciągarki
- Obciążaj w sposób ciągły do osiągnięcia 0,2 stopnia pochylenia (inklinacji) lub do osiągnięcia limitu udźwigu wciągarki lub udźwigu siłomierza, w zależności od tego, która wartość jest niższa.
- Po osiągnięciu jednego z limitów należy rozpocząć luzowanie liny
- Kliknij "*Stop*", aby zakończyć pomiar po całkowitym zluźnieniu liny.
- Kliknij "*Otwórz w przeglądarce*", aby otworzyć pomiar w module Viewer.



# Pulling Viewer



Możesz przetaczać się między inklinometrem a dwiema krzywymi elastometrów za pomocą zakładki pod parametrami testu.

Oprogramowanie automatycznie dopasowuje uogólnioną krzywą wykrotu (Formuła 1) do danych nachylenia i funkcję liniową do danych elastometru, gdy filtry są włączone. Filtrowanie danych jest wymagane do prawidłowego dopasowania funkcji.

Oprogramowanie oblicza również parametry statystyczne i współczynnik bezpieczeństwa (Safety Factor - SF) na podstawie każdego pomiaru.

## Ocena

Po zakończeniu testu można natychmiast ustalić, czy drzewo jest bezpieczne, na podstawie obliczonego współczynnika bezpieczeństwa (SF), jeśli podano wszystkie niezbędne parametry. Jeśli SF wynosi powyżej 1,5, drzewo jest uważane za bezpieczne (należy pamiętać, że test obciążeniowy nie uwzględnia otoczenia, drzewa stojące w tunelach aerodynamicznych mogą być zagrażające nawet przy wyższych współczynnikach bezpieczeństwa).

SF poniżej 1 sygnalizuje wysokie ryzyko. Pomiedzy tymi dwiema wartościami występuje umiarkowane ryzyko. Oddzielne wartości SF są obliczane dla wywrotu (pochylenie/ inklinacja) i dla każdego z elastometrów. (Wartości SF oparte na rozciąganiu oznaczają bezpieczeństwo części pnia, na której zamontowano dany elastometr). Należy pamiętać, że wartość SF jest specyficzna dla wprowadzonej prędkości wiatru; drzewo uznane za bezpieczne przy określonej prędkości wiatru może nie być bezpieczne przy silniejszym wietrze!

Uwaga: dane z testu obciążeniowego zazwyczaj bardzo dobrze pasują do krzywej / linii trendu. W przypadku słabego dopasowania nie należy ufać wynikom i obliczonemu SF. Taka sytuacja może wystąpić, jeśli w czasie testu wieje silny wiatr. Odrzuć wyniki i powtórz test, gdy wiatr będzie słabszy. Nie używaj testu obciążeniowego przy podmuchach wiatru powyżej 25 km/h.

Zapisany pomiar można otworzyć w oknie przeglądarki w celu późniejszego oglądu lub dalszej oceny. Za pomocą przycisków Otwórz lub Ostatni można otworzyć i wyświetlić wcześniejsze wyniki testu.

Pomiar testu obciążeniowego można przekonwertować w celu otwarcia w programie Excel:

- Kliknij plik pomiaru prawym przyciskiem myszy
- *"Pokaż więcej opcji"* (tylko dla Windows 11)
- *"Otwórz w programie Excel"*

## **Wytyczne dotyczące bezpieczeństwa**

Podczas testu obciążeniowego mogą zostać zastosowane znaczne obciążenia do 3,2 t. Test obciążeniowy może być niebezpieczny, jeśli nie będą przestrzegane odpowiednie procedury. Awaria, np. pęknięcie liny, może spowodować poważne obrażenia. Należy przestrzegać instrukcji bezpieczeństwa.

Zawsze sprawdzaj wciągarkę pod kątem metalowych zadziorów! W razie potrzeby usuń zadziory. Zadziory mogą uszkodzić linę.

Sprawdź zawiesia węzowe (Rysunek 2) pod kątem uszkodzeń.

1. Kierownik zespołu przeprowadzającego test obciążeniowy jest odpowiedzialny za bezpieczne przeprowadzenie testu.
2. Tylko przeszkolony personel może przeprowadzać test obciążeniowy
3. Urządzenie ciągnące, w tym pasy, lina i wciągarka muszą być nienaruszone. Przed testem należy sprawdzić sprzęt pod kątem uszkodzeń lub zadziorów
4. Wszystkie komponenty muszą być chronione przed wysoką wilgotnością, mrozem i długimi okresami ekspozycji na światło słoneczne
5. Obszar roboczy powinien być zamknięty dla osób postronnych. Nieupoważniony personel nie może przechodzić pod liną ani wspinać się.
6. Członkowie zespołu testowego muszą znajdować się w odległości co najmniej 2 m od liny, z wyjątkiem operatora wciągarki.
7. Powyżej 1 kN obciążenia operator wciągarki powinien używać długiego ramienia i stać jak najdalej od liny.
8. Bądź zawsze przygotowany na awarię sprzętu lub złamanie drzewa.
9. Zatrzymaj test obciążeniowy po osiągnięciu 0,2 stopnia pochylenia.
10. Przestrzegaj instrukcji bezpieczeństwa wszystkich urządzeń
11. Testu obciążeniowego nie wolno przeprowadzać w deszczu ani w ujemnych temperaturach.

**WAŻNA INFORMACJA:** urządzenie do obciążania, w tym liny, zawiesia i wciągarka nie są częścią produktu Fakopp PullingTest. Powinny one zostać zakupione przez użytkowników. **Fakopp Enterprise Bt. nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek szkody lub obrażenia związane z procedurą testu obciążeniowego!**

## Ważne uwagi

Ocena wizualna jest pierwszym etapem oceny drzewa. Arborysta/oceniający drzewo powinien być w stanie zdecydować, czy test obciążeniowy może zostać przeprowadzony bez żadnego ryzyka. Istnieją przypadki, w których obciążanie nie jest w ogóle zalecane, podczas gdy w innych przypadkach może być konieczna dodatkowa ostrożność.

Należy unikać wykonywania testu obciążeniowego:

- gdy istnieje pęknięcie pnia
- gdy istnieje ryzyko złamania
- gdy na pniu znajduje się rozwidlenie, a ciągnięcie może je rozłamać
- podczas wietrznej lub deszczowej pogody

Jeśli szyja korzeniowa jest w złym stanie, do testu należy użyć 2 inklinometrów. Oba powinny znajdować się na szyi korzeniowej, jak najbliżej gruntu. Nie należy umieszczać ich na uszkodzonych obszarach. Jeśli oceniane współczynniki bezpieczeństwa różnią się od siebie o ponad 50%, oznacza to, że nie należy ufać pomiarowi.

Inklinometry powinny być ustawione pod kątem 90 stopni względem siebie na szyi korzeniowej. Jeśli szyja korzeniowa jest eliptyczna, należy umieścić jeden inklinometr wzdłuż dłuższej osi, a drugi wzdłuż krótszej osi.

Ciągnij drzewo w kierunku, który wydaje się być dla niego najstabszy. Jeśli konieczne jest ciągnięcie drzewa z rozwidleniem, należy zawsze unikać rozciągania rozwidlenia. Należy ciągnąć prostopadle do rozwidlenia i używać bloczków prusik minding (z podwójnym kołnierzem).

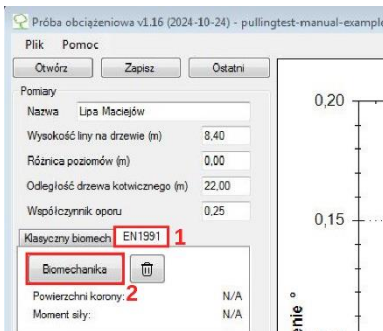
Elastometry zużywają energię. W przypadku korzystania z elastometrów w niskich temperaturach bateria może rozładować się w ciągu godziny.

# Przewodnik po biomechanice EN1991

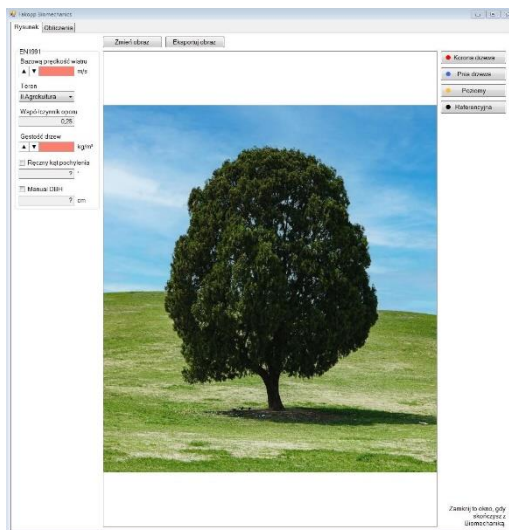
## Rozpocznij biomechanikę

Aby rozpocząć biomechanikę opartą na EN1991:

1. Kliknij zakładkę "EN1991"
2. Kliknij przycisk "Biomechanika"



- Wybierz obraz mierzonego drzewa. (Upewnij się, że drzewo zajmuje większą część obrazu).
- W oknie Biomechanika zostanie wyświetlony obraz:



## Ustawienie parametrów EN1991

Rozpocznij od wprowadzenia parametrów modelu:

1. Podstawowa prędkość wiatru: zadeklarowana w sekcji 4.2 normy EN1991-1-4 i powinna być podana w Załączniku krajowym.
2. Kategoria terenu: określona w tabeli 4.1 w sekcji 4.3.2 normy EN1991-1-4 i może być podana w załączniku krajowym.
3. Współczynnik oporu drzewa (można go określić w oknie głównym, nad zakładką EN1991).
4. Gęstość gatunkowa drzewa.
5. Kąt nachylenia jest obliczany na podstawie obrazu po narysowaniu wszystkich linii. Alternatywnie można go wprowadzić, zaznaczając pole "Ręczny kąt pochylenia". (Jest to konieczne, gdy kąt pochylenia drzewa nie jest wyraźnie widoczny na obrazie).
6. "Pierśnica" (DBH), - średnica pnia mierzona na wysokości 1,3 m (Forest mensuration by Kershaw et al., 2016). Służy do szacowania objętości i momentu ciężaru własnego (patrz strona Obliczenia). Domyślnie parametr ten jest obliczany na podstawie obrazu po narysowaniu wszystkich linii. Ręczne wprowadzanie (Manual DBH), gdy DBH jest mierzony w terenie.

EN1991

Bazową prędkość wiatru

▲ ▼ 23 m/s

Teren

II Agrokultura ▼

Współczynnik oporu

0,25

Gęstość drzew

▲ ▼ 600 kg/m<sup>3</sup>

Ręczny kąt pochylenia

?

Manual DBH

?

cm

## Definiowanie wymiarów drzewa

Rozpocznij rysowanie na obrazie, klikając jeden z przycisków po prawej stronie.

- Korona drzewa: narysuj zarys korony drzewa.
- Pień drzewa: narysuj zarys pnia drzewa.
- Poziomy: narysuj poziomą linię reprezentującą poziomą oś obrazu u podstawy drzewa.
- Referencyjna: narysuj linię o znanej długości na obrazie (najczęściej jest to wysokość drzewa).



## Dodaj punkty

Aby dodać punkty do dowolnej linii:

- Upewnij się, że przycisk "Dodać" jest zaznaczony
- Kliknij, aby dodać nowy punkt na końcu linii
- Można również wstawić punkt, gdy kursor myszy znajduje się blisko linii



Punkty już umieszczone można również przesuwać, przeciągając je przy wciśniętym lewym przycisku myszy.



## Usuń punkty

Aby usunąć punkt:

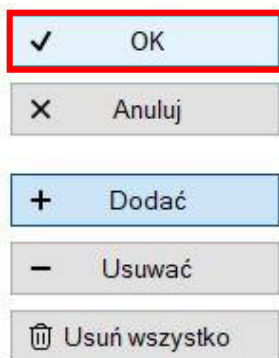
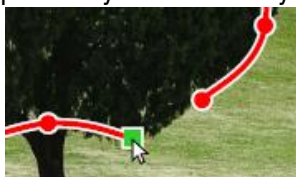
- W trybie "Dodaj": Kliknij punkt prawym przyciskiem myszy
- W trybie "Usuń": po prostu kliknij punkt
- Przycisk "Wyczyść": usuwa wszystkie punkty



## Zakończenie rysowania

Aby zakończyć rysowanie, możesz zarówno:

- Kliknąć przycisk OK
- W przypadku korony i pnia można kliknąć lewym przyciskiem myszy na pierwszy umieszczony punkt





## Obliczanie wyników

- Po zakończeniu rysowania upewnij się, że wszystkie parametry i linie są prawidłowe.
- Jeśli wszystko wygląda poprawnie, kliknij zakładkę "Obliczenia", aby obliczyć model. (Zawsze możesz wrócić później, aby wprowadzić poprawki).

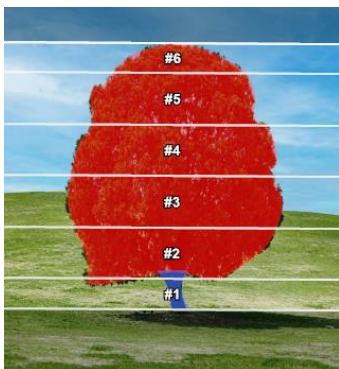


## Tabela "Części"

Model dzieli powierzchnię skierowaną w stronę wiatru na kilka "części" w oparciu o kategorię terenu i wysokość drzew:

- Części są numerowane od dołu do góry, przy czym #1 jest najniższą częścią.
- Wiersz "Wszystko" na górze tabeli reprezentuje całe drzewo
- Kolumny "spód" i "szczyt" pokazują wysokość dolnej i górnej części każdej części względem podłoża.
- Kolumna "Moment siły" pokazuje całkowity moment siły każdej części.

| część    | spód    | szczyt  | Moment siły |
|----------|---------|---------|-------------|
| Wszystko | 0.00 m  | 17.84 m | 346 kNm     |
| #6       | 15.84 m | 17.84 m | 38 kNm      |
| #5       | 12.38 m | 15.84 m | 113 kNm     |
| #4       | 8.92 m  | 12.38 m | 99 kNm      |
| #3       | 5.46 m  | 8.92 m  | 67 kNm      |
| #2       | 2.00 m  | 5.46 m  | 27 kNm      |
| #1       | 0.00 m  | 2.00 m  | 2 kNm       |



## Tabela "Wyniki"

Tabela wyników podsumowuje wyniki modelu, wyświetlając obszary pnia i powierzchnię korony, a także całkowity moment siły całego drzewa.

|                       |                             |
|-----------------------|-----------------------------|
| Powierzchnia korony   | <b>179.66 m<sup>2</sup></b> |
| Obszar pnia drzewa    | <b>2.96 m<sup>2</sup></b>   |
| Całkowity moment siły | <b>345 635 Nm</b>           |

## Obliczenia modelu

Dolna połowa zakładki "Obliczenia" zawiera szczegółowe informacje na temat sposobu obliczania wyników modelu.

1. Wzory i krótkie objaśnienia
2. Rozmiar czcionki można dostosować za pomocą przycisków "A+" i "A-".
3. Pole wyboru "Wyjaśnienia" określa, czy do formuł mogą być dodane krótkie objaśnienia
4. Szara pozioma linia to przeciągalny separator, który umożliwia zmianę rozmiaru zawartości okna.

4

A+ 2 A- Explanations 3

**All parts**

The total torque affecting the tree is the sum of the overall torque affecting each part.

$$\tau_{\text{All parts}} = \tau_{\#6} + \tau_{\#5} + \tau_{\#4} + \tau_{\#3} + \tau_{\#2} + \tau_{\#1}$$
$$\tau_{\text{All parts}} = 45\,684\text{ Nm} + 112\,661\text{ Nm} + 98\,203\text{ Nm} + 65\,576\text{ Nm} + 26\,312\text{ Nm} + 1\,347\text{ Nm}$$
$$\tau_{\text{All parts}} = 349\,783\text{ Nm}$$

**Part #6** 1

Terrain roughness (Part #6)

The terrain factor  $k_r$  is calculated using *EN1991-1-4 Equation (4.5) of §4.3.2*.

The roughness length  $z_0$  is a function of the selected terrain category.  $z_{0,II}$  is the roughness length of terrain category II. Both are defined in *EN1991-1-4 Table 4.1 of §4.3.2*.

$$k_r = 0.19 \cdot (z_0 / z_{0,II})^{0.07}$$

## Eksportowanie danych

1. Możesz skopiować obliczenia za pomocą przycisku kopiowania znajdującego się nad nimi.



A+

A-

Wyjaśnienia

2. Narysowany obraz można wyeksportować za pomocą przycisku "Eksportuj obraz".

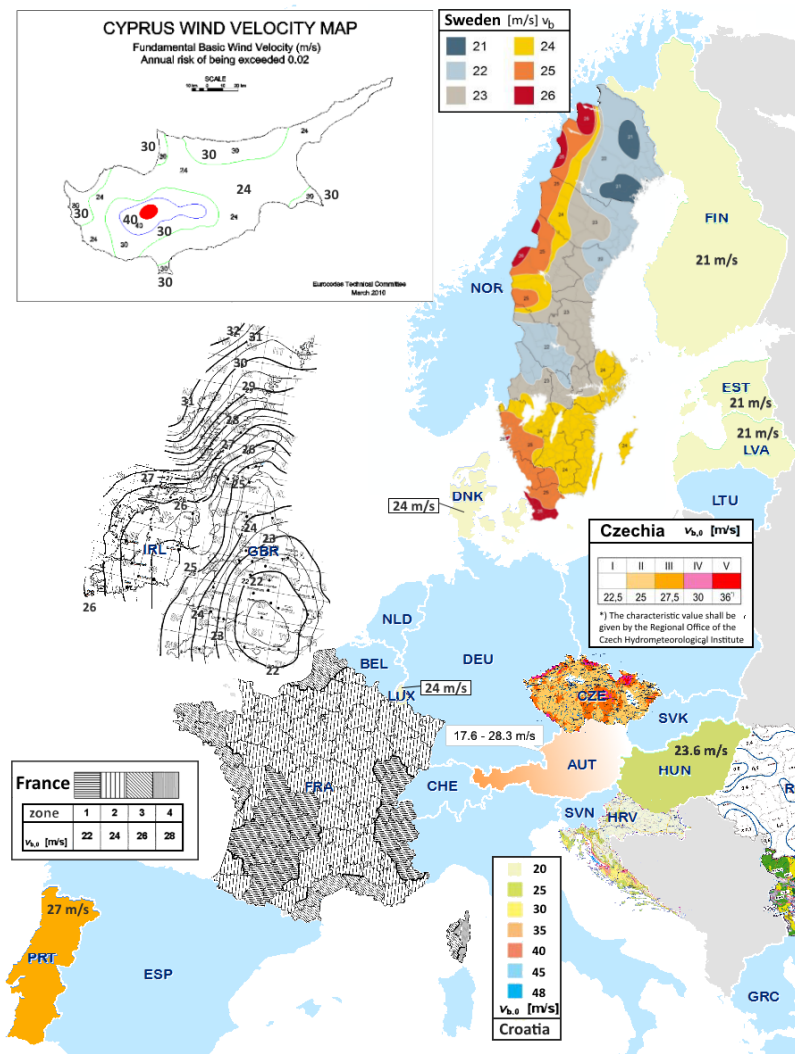
Zmień obraz

Eksportuj obraz

## Opuszczanie edytora Biomechanika

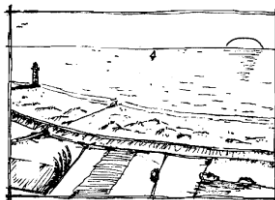
1. Po zakończeniu wystarczy zamknąć okno.
2. Aby zapisać swoją pracę, zapisz projekt w zwykły sposób (używając przycisku "Zapisz" w lewym górnym rogu okna głównego).

# EN1991 Dodatek A: mapy wiatru



## EN1991 Dodatek B: Kategorie terenu

0 Morze, obszar brzegowy otwarty na morze



I Jeziora albo obszary z pomijalną niewielką roślinnością i bez przeszkód



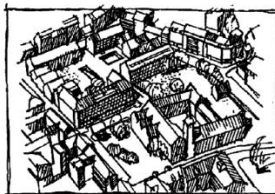
II Obszary z niską roślinnością, taką jak trawa, oraz pojedynczymi przeszkodami (drzewa, budynki) oddalonymi od siebie na odległość nie mniejszą niż 20 ich wysokości



III Obszary regularnie pokryte roślinnością albo budynkami lub pojedynczymi przeszkodami oddalonymi od siebie na odległość nie większą niż 20 ich wysokości (jak wsie, tereny podmiejskie, stałe lasy)



IV Obszary, na których przynajmniej 15% powierzchni pokrywają budynki o średniej wysokości przekraczającej 15 m.



## **Załącznik A**

### **Czujnik wagowy - siłomierz**

#### **Siłomierz Kaliber 5t**

- Skalibrowany czujnik wagowy, udźwig 5t
- Zewnętrzny wyświetlacz firmy Rinstrum
- Połączenie szeregowe z jednostką centralną
- Częstotliwość próbkowania: 1 Hz
- Szekla omega
- 4 akumulatory AA + ładowarka

#### **Inklinometr**

- Czujnik inklinacji
- Płyta montażowa czujnika
- Zewnętrzna jednostka akumulatorowa ze źródłem sygnału Bluetooth (jednostka centralna)
- Dwuosiowe urządzenie poziomujące
- Akumulator 9V + ładowarka
- Zakres pomiarowy  $\pm 2$  stopnie (do celów badawczych dostępne jest  $\pm 5$  stopni)
- Rozdzielczość: 0,001 stopnia
- Kompensacja temperatury
- Częstotliwość próbkowania: 10 Hz
- Montaż za pomocą śrub
- Napięcie i prąd roboczy: 12 V, 20 mA
- Odporność na warunki atmosferyczne, IP65

## **Elastometry**

System zawiera dwa elastometry LVDT, które można zamontować na pniu drzewa. Sygnał jest przesyłany do jednostki centralnej za pośrednictwem skrzynki elastometru.

- Elastometry LVDT
- Wymiary: 30x30x270 mm (przy zamknięciu)
- Rozpiętość: 250 mm
- Częstotliwość próbkowania: 1 Hz
- Źródło zasilania: 12V

Uwaga dla urządzeń wyprodukowanych przed 1 lutego 2021 r.: stałe kalibracji są określone w arkuszu kalibracji i należy je wprowadzić do oprogramowania przy pierwszym użyciu urządzenia.

## **Oprogramowanie do testu obciążeniowego**

- Oprogramowanie na komputery PC, działające w systemie Windows 10 lub nowszym,
- Jednoczesny pomiar siły, pochylenia i odkształcenia
- Ocenia krzywe obciążenie-pochylenie i obciążenie-odkształcenie
- Automatyczne obliczanie współczynnika bezpieczeństwa dla wywrotu i bezpieczeństwa pnia
- Jednoczesna obsługa dwóch inklinometrów i dwóch elastometrów



# Załącznik B

**Table 1. Stuttgart table of wood strength (Wessolly and Erb 1998).**

| Species                           | Modulus of elasticity (N/mm <sup>2</sup> ) | Comparable strength in longitude (N/mm <sup>2</sup> ) | Elastic limit (%) | Proposed Aerodynamic drag factor (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>Allanthus 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</i> × hybrid          | 6250                                       | 27  | 0.43              | 0.25   |
| <i>Populus</i> × <i>canescens</i> | 6050                                       | 20  | 0.33              | 0.2–0.25   |
| <i>Populus nigra</i> ‘Italica’    | 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</i> × <i>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   |

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