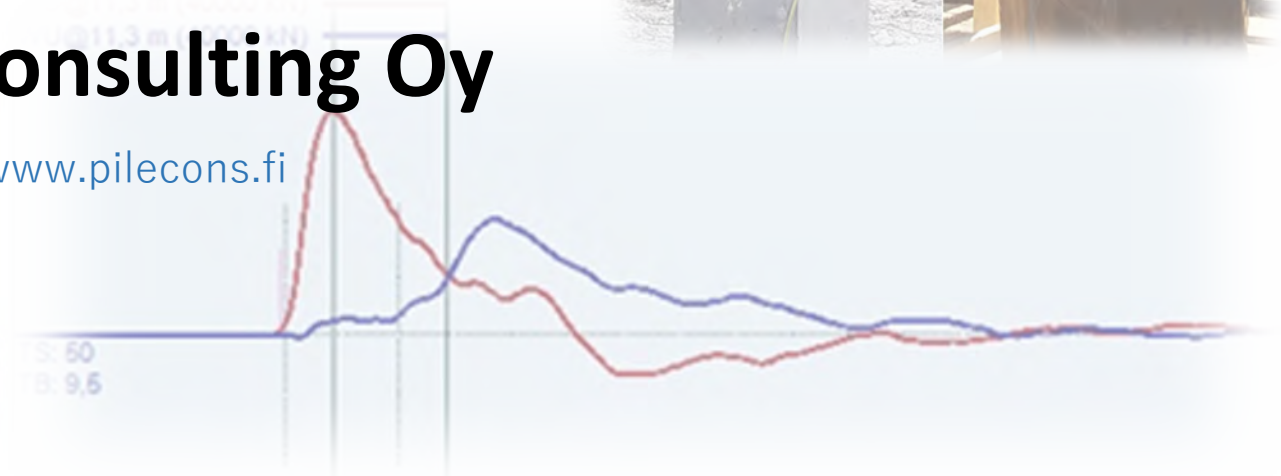
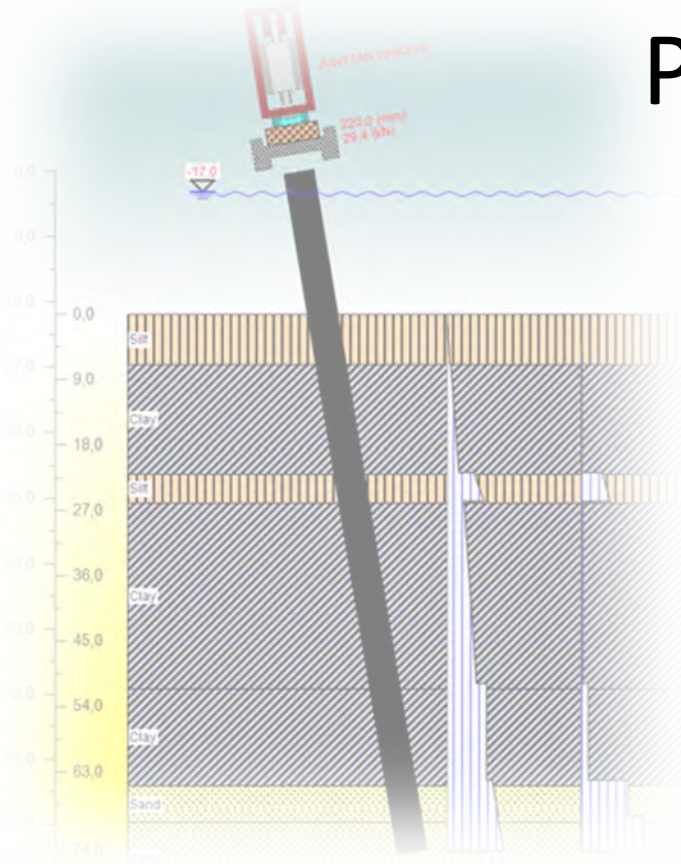


Paaluseminaari 17.9.2026

PDA-mittaukset

Pile Consulting Oy

www.pilecons.fi



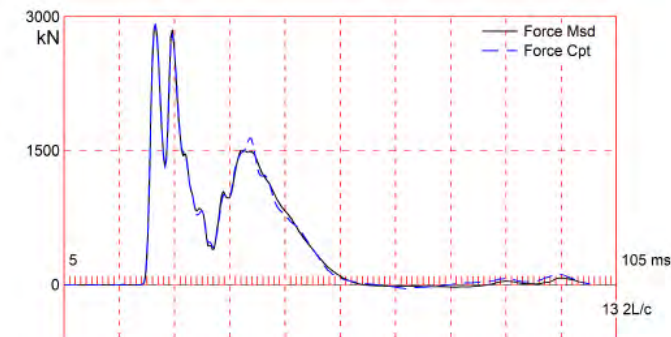
Pile Consulting Oy
Mäkikulma 2A
37570 Lempäälä
FI36022666

Teemu Riihimäki
050 574 7266
teemu.riihimaki@pilecons.fi

Paalujen laadunvarmistus

Miksi teräsbetonipaaluja koekuormitetaan?

- Paalun geotekninen kestävyys?
 - Geotekninen kestävyys selvitetään staattisella tai dynaamisella koekuormituksella
- Paalun ehjyys?
 - Low strain- tai high strain- mittaus
- Miksi pelkkä loppulyöntiohje ei riitä?
 - Usein riittääkin, mutta miksi lyödä paalut tarpeettoman tiukkaan
 - Aikatekijä, halutaanko paalun vaippakestävyyttä käyttää hyväksi



PDA-mittaus

- PDA-mittauksella saadaan riittävän luotettavasti paalun geotekninen kestävyys selville.
- Koekuormitus on nopeaa ja taloudellista, mutta mittaukset on suoritettava huolellisesti ja tuloksia saa tulkita ainoastaan PÄTEVÄ henkilö
- Paalun ”kuntoa” voidaan arvioida mittaustuloksen perusteella
- Paalun toimintatapaa (vaippa-/kärkikestävyys) voidaan arvioida mittaustulosten perusteella ja mittaustulokselle voidaan tehdä signaalinsovitus (CAPWAP)



PDA-mittaukset

Mittaukset voidaan tehdä etänä tai paikanpäällä työmaalla, mittaustekniikka ja periaatteet on molemmissa täysin samat

- Molemmissa on puolensa – mittaajan saanti työmaalle kalustoineen voi kestää verrattuna siihen jos mittauskalusto on jo työmaalla ja mittaukset tehdään etänä
- Etämittaus on joustavampaa ja voidaan nopeasti reagoida tilanteisiin, jos jotain erikoista tapahtuu – esimerkiksi epäily, että paalu menee poikki tai voidaan tehdä samalle paalulle useampana päivänä koekuormitus (vaippavastuksen kehityksen seuraaminen)
- Etämittaus on kustannustehokkaampaa

Laatu PDA-mittauksissa



PDA-mittausten laatu:

- Noudatetaan kansallisia (PO 2016 ja Väylä 31/2016) ja kansainvälisiä ohjeita (EN 22477-4)
- Kun mittaukset tehdään edellisten ”ohjeiden” periaatteella, on tulos luotettava
- Ohjeista poikkeaminen vaatii erityisen painavan syyn ja tällöin on tuloksen luotettavuutta arvioitava erikseen



Liikenneviraston ohjeita
31/2016

Paalujen dynaaminen
koekuormitus ja ehjyysmittaus



INTERNATIONAL STANDARD ISO 22477-4

First edition
2018-03

Geotechnical investigation and testing — Testing of geotechnical structures —
Part 4:
Testing of piles: dynamic load testing

*Reconnaissance et essais géotechniques — Essais de structures géotechniques —
Partie 4: Essais de pieux: essai de chargement dynamique*

ISO
Licensed to: Riihimäki
Downloaded from: 2018-03-01
Single user license, all rights reserved, and networking prohibited

Reference number
ISO 22477-4:2018(E)

PDA-mittaukset

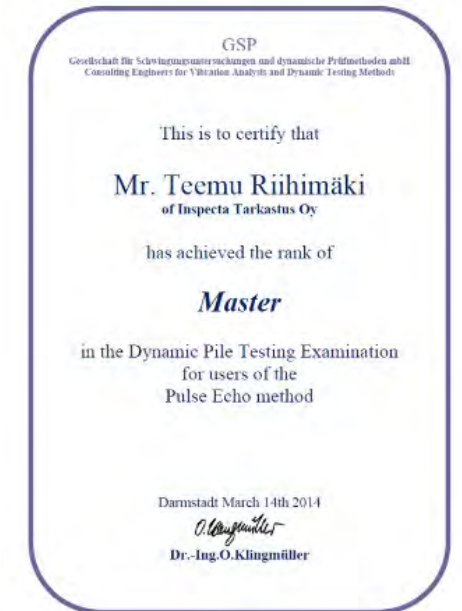


Vaatimukset mittalaitteille

- Mittalaite tehty mittauksia varten ja vain ehjillä, oikein asennetuilla antureilla voi tehdä mittauksen
 - Huono signaali -> tulos ei pidä paikkaansa

Vaatimukset mittaaajalle

- Vähintään laitevalmistajan koulutus ja tehty testi
- Riittävä geotekninen osaaminen -> onko tulos millään tavalla realistinen



The logo for PILE CONSULTING features the word "PILE" in a large, bold, blue sans-serif font. Below it, the word "CONSULTING" is written in a smaller, bold, blue sans-serif font. The text is enclosed within a stylized blue swoosh that curves around the bottom and sides, resembling a protective shield or a dynamic motion line.

The figure consists of three vertically stacked graphs sharing a common time axis from 0 to 10 seconds. A vertical dashed line marks the peak time of 1.37 seconds. The top graph shows Force (F) and Velocity (V) at 27.1 m. The middle graph shows Displacement (WD) and Velocity (WU) at 27.1 m. The bottom graph shows the acceleration time history. All graphs share a common time axis from 0 to 10 seconds and a common peak time of 1.37 seconds.

Top Graph: Force and Velocity

- Y-axis: Force (F) and Velocity (V)
- Legend: F@27,1 m (6000 kN) (red line), V@27,1 m (5,38 m/s) (blue line)
- Labels: TS: 60, TB: 10
- Peak time: 89,0 @ 13,7 m

Middle Graph: Displacement and Velocity

- Y-axis: Displacement (WD) and Velocity (WU)
- Legend: WD@27,1 m (6000 kN) (red line), WU@27,1 m (6000 kN) (blue line)
- Labels: TS: 60, TB: 10
- Peak time: 89,0 @ 13,7 m

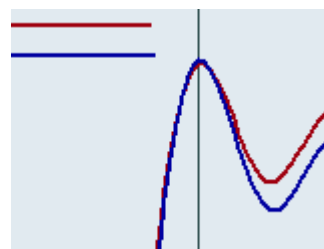
Bottom Graph: Acceleration

- Y-axis: Acceleration
- Legend: A3 (red line), F1 (blue line)
- Labels: TS: 60, TB: 10
- Peak time: 89,0 @ 13,7 m

- | Project Information | Quantity Results | Sensors |
|------------------------------------|------------------|--|
| PROJECT: ESIMERKKI BETONIPALUPÄÄVÄ | RMX 3246 kN | F1 : [349C] 150,3 PDICAL (1) FF5 |
| PILE NAME: RTC350 | FMX 4062 kN | F2 : [353C] 145,1 PDICAL (1) FF5 |
| DESC: 5t | CSX 33,2 MPa | A3 (PE): [84814] 1005,673 g/s/volt (1) VF5 |
| PDA OWNER: Pile Consulting | CSI 40,6 MPa | A4 (PE): [85170] 971,372 g/s/volt (1) VF5 |
| SERIAL NUMBER: 5697 LE | CSB 30,2 MPa | CLIP: OK |
| OPERATOR: TRI | TSX 5,5 MPa | |
| FILE: P1546.pda | VMX 4,18 m/s | |
| 05touko2026 09.41.16 ap. | DMX 26 mm | |
| Blow number 2 | EMX 69,8 kN-m | |
| | FVP 0,9 | |
| Pile Properties | RX5 3246 kN | |
| LE 27,1 m | RX6 3115 kN | |
| AR 1225,00 cm² | RX7 2988 kN | |
| EM 34474 MPa | | |
| SP 23,6 kN/m3 | | |
| WS 3787,8 m/s | | |
| WC 3763,9 m/s | | |
| EA/C 1115 kN-s/m | | |
| 2L/C 14,40 ms | | |
| JC 0,50 | | |
| LP 26,0 m | | |

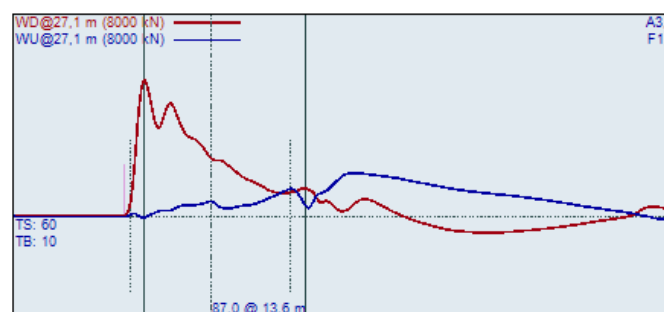
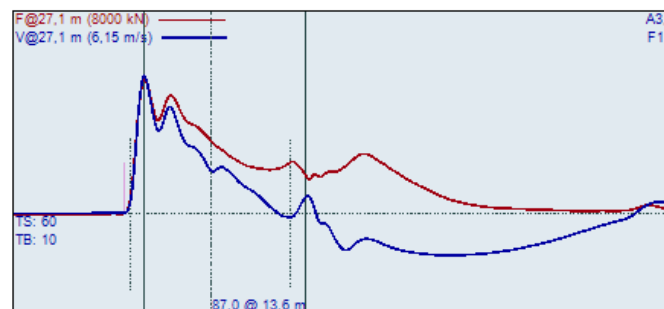
WS=3787 m/s
SP = 23,6 kN/m³
➔ RMX = 3246 kN
➔ Tulosta
aliarvioidaan, koska
paalun
kimmomoduuli on
liian alhainen
paalun antureiden
tasolla – lasketut
tulokset eivät pidä
paikkaansa

PDA-mittaus



PDA-mittaus

- Tyypillinen suomalainen betoni WS=3800-4300 m/s
- Tilavuuspaino 24,5 kN/m³
- Aallon nopeus valitaan siten, että iskuhetkellä $F=Zv$



Project Information		Quantity Results		Sensors	
PROJECT:	ESIMERKKI BETONIPAALUPÄIVÄ	RMX	4144 kN	F1 :	[349C] 150,3 PDICAL (1) FF5
PILE NAME:	RTC350	FMX	5317 kN	F2 :	[353C] 145,1 PDICAL (1) FF5
DESC:	5t	CSX	43,4 MPa	A3 (FE):	[84814] 1005,673 g/s/volt (1) VF5
PDA OWNER:	Pile Consulting	CSI	53,2 MPa	A4 (FE):	[85170] 971,372 g/s/volt (1) VF5
SERIAL NUMBER:	5697 LE	CSB	36,7 MPa	CLIP:	OK
OPERATOR:	TRI	TSX	6,4 MPa		
FILE:	Esimerkkisygnali.pda	VMX	4,18 m/s		
05touko2026 09.41.16 ap.		DMX	24 mm		
Blow number 2		EMX	87,6 kN-m		
		FVP	1,0		
Pile Properties		RX5	4144 kN		
LE	27,1 m	RX6	3975 kN		
AR	1225,00 cm ²	RX7	3829 kN		
EM	45126 MPa				
SP	24,5 kN/m ³				
WS	4250,0 m/s				
WC	3727,1 m/s				
EA/C	1301 kN-s/m				
2L/C	14,54 ms				
JC	0,50				
LP	26,0 m				

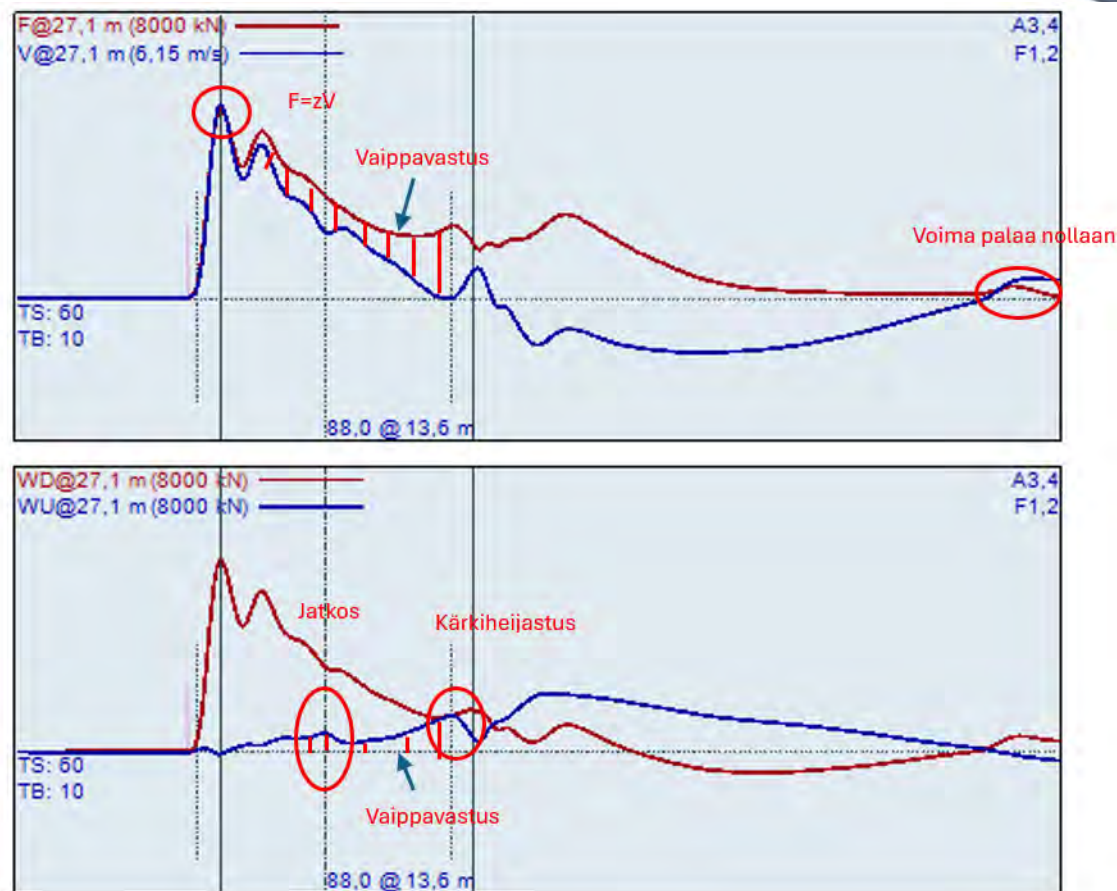


WS=4250 m/s
SP = 24,5 kN/m³
-> RMX = 4144 kN

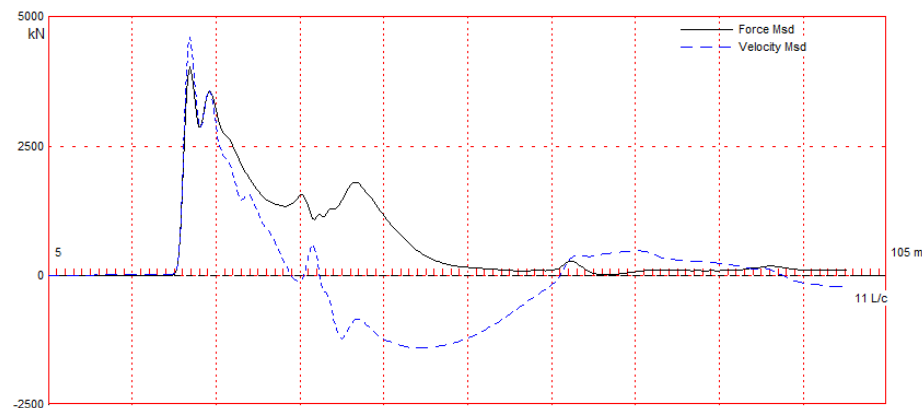
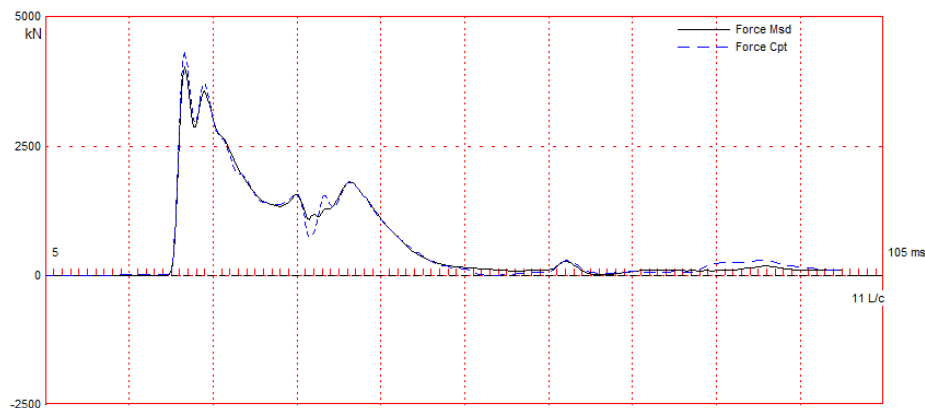
PDA-mittaus betonipaalu

Mitä kuvasta näkyy

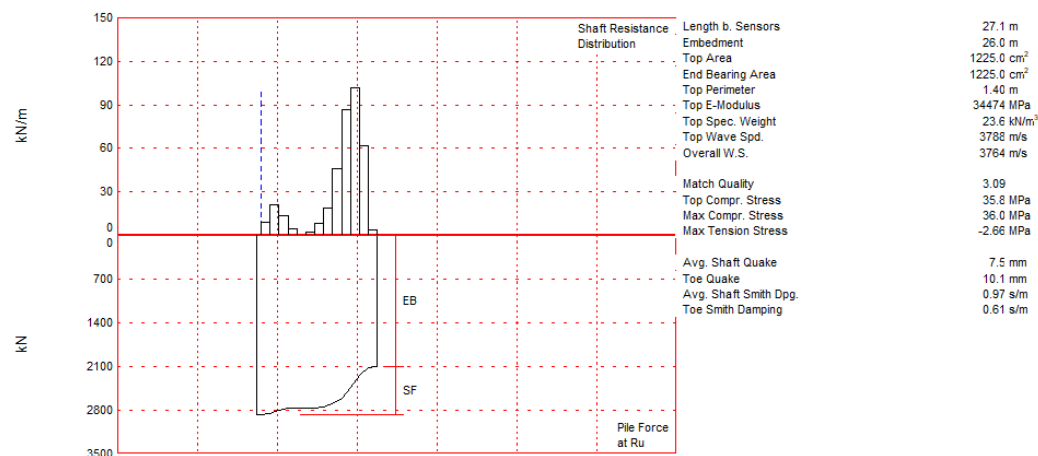
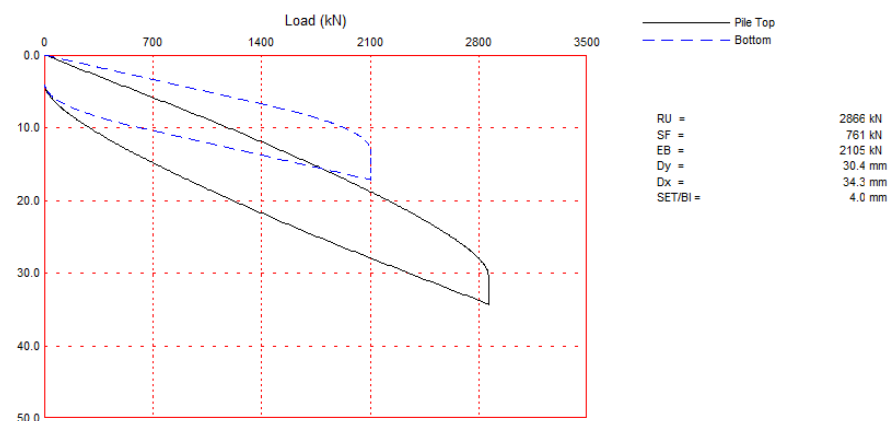
- Voima ja nopeus ok
- Signaali ok, voima palaa nollaan
- Paalulla on hyvin vaippavastusta
- Jatkos näkyy kuvaajasta



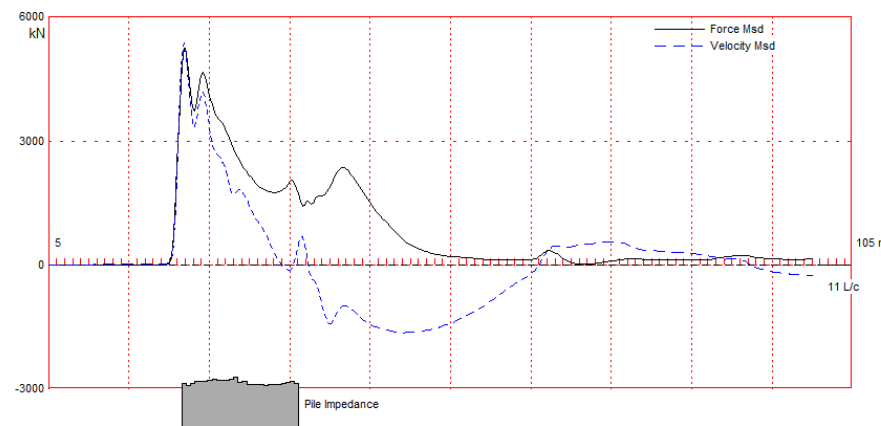
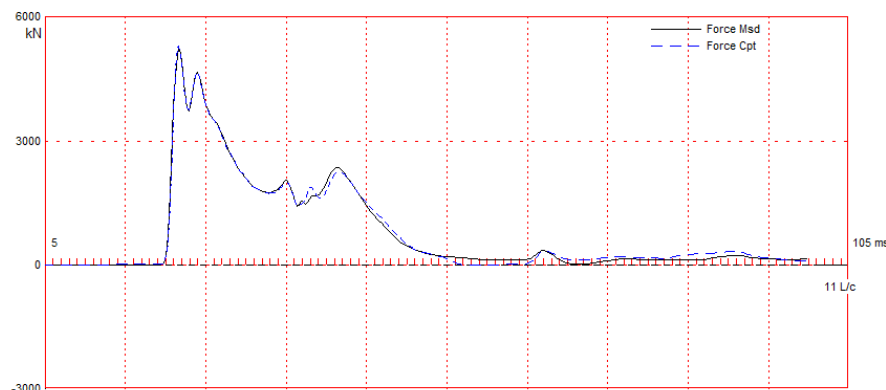
CW-edellinen PDA-oletusarvoilla



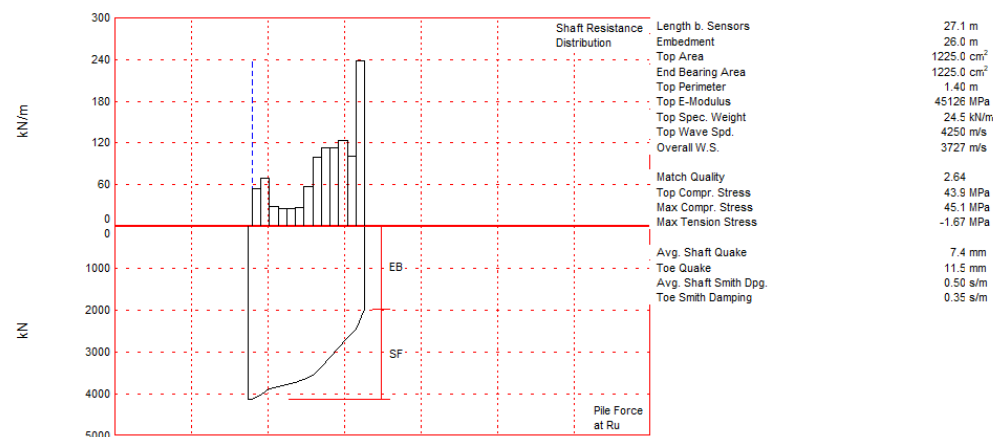
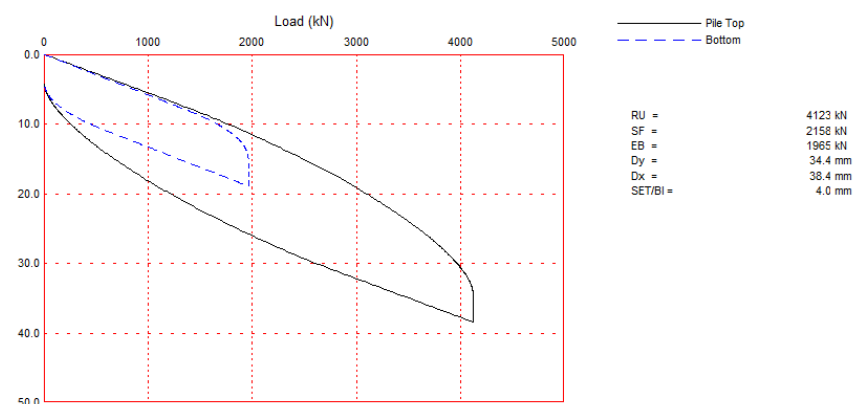
RMX=3246 kN
 RU=2866 kN
 SF=761 kN
 EB=2105 kN
 Jc=0,88



CW-”oikeilla” arvoilla



RMX= 4074 kN
 RU=4123 kN
 SF=2158 kN
 EB=1965kN
 Jc=0,51



Tulokset

PDA liian alhaisella aallonnopeudella	3246 kN (-880 kN)
CW alhaisella aallonnopeudella – auto CAPWAP	2866 kN (-1260 kN)
PDA oikea aallonnopeus	4144 kN (+18 kN)
CW oikea aallonnopeus	4126 kN

Aallonnopeus oli valittu noin 10% liian pieneksi ja ”kantavuus” RU pieneni 30%.

Edellinen oli tapaus jossa aallonnopeus oli liian pieni verrattuna oikeaan aallonnopeuteen, voi tuo joskus mennä toisinpäinkin...

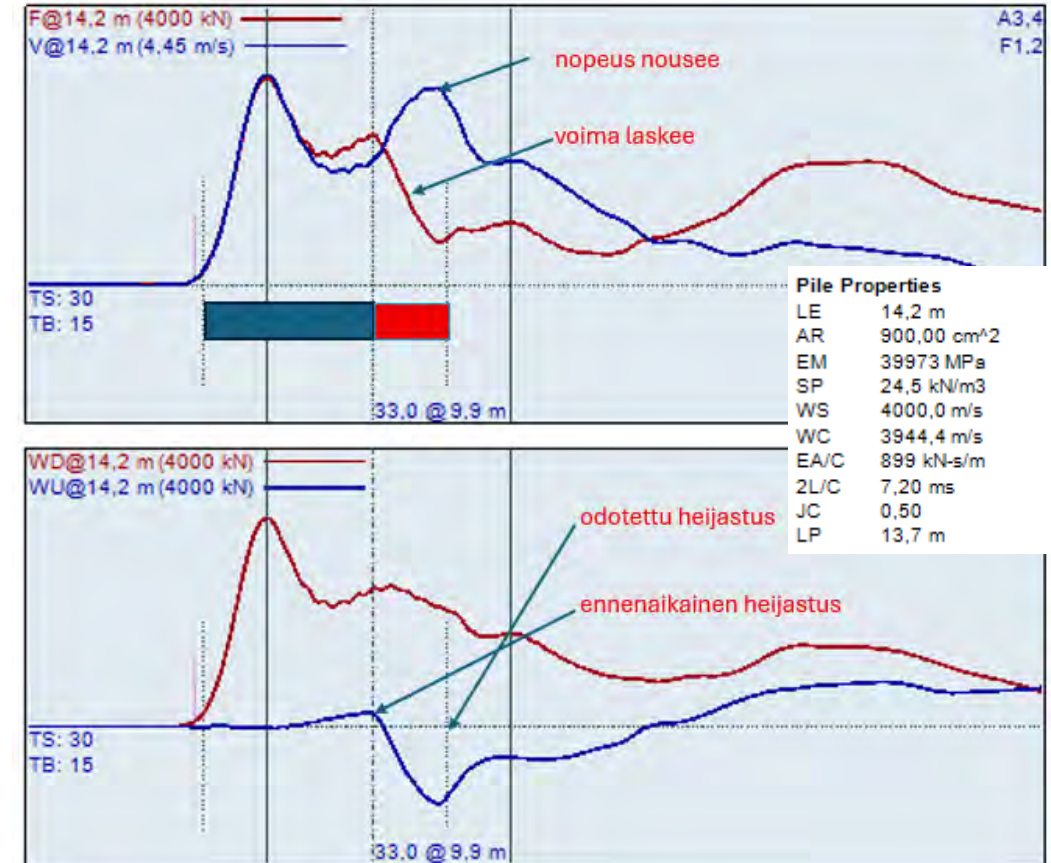
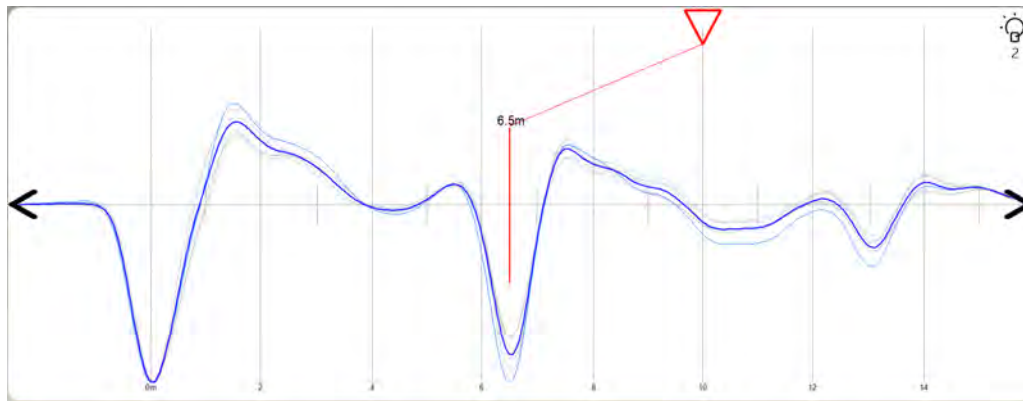
Paalun geotekninen kestävyys

Paalun geoteknisen kestävyuden "arvio" saadaan dynaamisella koekuormituksella tai siitä tehdystä CAPWAP-analyysistä

- Mitattu tulos ei välttämättä edusta paalun geoteknistä murtokestävyyttä, mikäli koekuormitusiskulla ei saada paalua painumaan
- Kitkapaaluilla pitää aina tehdä CAPWAP-analyysi (ei ole pakko kaikille mitatuille paaluille tehdä, jos paalut käyttäytyvät samankaltaisesti), jotta saadaan määritettyä kohteeseen sopiva vaimennuskerroin

Vaurioitunut paalu - PDA/PET

Vaurioitunut tai katkennut paalu havaitaan yleensä PDA-mittauksella tai PIT/SIT/PET mittauksella.



Ehjyyden tulkinta

- Ehjyysmittaukset voidaan raportoida esimerkiksi viereisellä luokituksella (Väylä 31/2016)
- PDA-mittauksissa, ei voi tuijottaa pelkkää β -arvoa, vaan paalua pitää tulkita kokonaisuutena

Table 1. Beta Method Damage Classification

B (%)	Severity of damage
100	Undamaged
80 – 99	Slight damage
60 – 79	Damage
< 60	Broken

LUOKKA	TULKINTA
A	HYVÄKSYTTÄVÄT PAALUT
A1	Paalussa on isku onnistunut ja paalun alapää näkyy. Mittauskäyrässä ei ole havaittavissa merkkejä vaurioista. Alapään esiin saaminen saattaa edellyttää vahvistusta.
A2	Jatkopaalussa on isku onnistunut ja paalujatkos (jatkokset) näkyy M – etäisyydellä paalun yläpäästä. Paalun alapää ei voida havaita. Osapaaluissa ei ole havaittavissa vaurioita.
A3	Paalulla on selkeä kärkiheijastus, mutta iskuaaltokuvaajassa poikkeamia. Poikkeamat johtuvat joko lievistä vaurioista paalussa, kuten nostolenkkien kohdalle jääneistä harvavaluista tai hiushalkeamista. Poikkeamat saattavat johtua myös maan vaimentavasta vaikutuksesta tai osaan paalua imeytyneestä vedestä, joka aiheuttaa muutoksia paalun impedanssissa.
A4	Muu erikseen ilmoitettava syy.
B	HARKITTAVAT PAALU
B1:M	Paalussa on lievä vaurio M – metrin etäisyydellä paalun yläpäästä. Paalun alapää näkyy.
B2	Paalulla ei ole selkeää kärkiheijastusta, mutta ei ole myöskään selkeitä vetoaaltuja, jotka viittaisivat pahoihin vaurioihin.
B3	Paalulla on epäilyttävän suuri tai pieni aallonnopeus verrattuna kohteen muihin paaluihin.
B4	Paalun yläpää on vaurioitunut eikä paalusta saada kunnollista mittaussignaalia. Paalun yläpää voidaan katkaista vaurion alapuolelta ja mittaus uusia.
B5	Muu erikseen ilmoitettava syy.
C	HYLÄTTÄVÄT PAALUT
C1:M	Paalu on selkeästi poikki M – metrin etäisyydellä paalun yläpäästä. Paalulla ei ole kärkiheijastusta.
C2	Paalu on pahoin vaurioitunut koko matkalta.
C3	Muu erikseen ilmoitettava syy.

PDA-raportti

Mitä raportissa pitää olla esitettynä:

- $R_{c;m;mean}$ ja $R_{c;m;min}$ arvot, eri paalutypeille tai eri rakenteille (eri alueet, esimerkiksi paalulaatat tai sillan tuet käsitellään omina kokonaisuuksina)
- Perusteltu kannanotto teräsbetonipaalun ehjyyteen, näkykö kuvaajissa jotain "normaalista" poikkeavaa
- Onko paalu tukipaalu/kitkapaalu, onko paalulle kehittynyt vaippavastusta
- Perusteltu loppulyöntiehdotus tukipaaluilla / kitkapaaluilla suositeltu paalupituus paalun mitoituskuormaan nähden
- Tuloksen herkkyys vaimennuskertoimelle
- Ovatko tulokset realistisia pohjasuhteisiin verrattuna

PDA-raportin tarkoitus

PDA-raportti on toisaalta laatudokumentti, suunnitelmien vaatimuksen mukaisuuden osoitus tai toisaalta se voi olla tarkennus tai lähtötieto (esimerkiksi koepaalutus) paalujen geotekniseen suunnitteluun

- Raportti on oltava selkeä ja tarjottava objektiivinen kuvaus mitatuista paaluista
- Kaikki oleelliset lähtötiedot ja havainnot mittauksista on kirjattava raporttiin
- Lopulliset päätökset paalujen hyväksymisestä tai hylkäämisestä, paaluille "sallittavista" kuormista ym. joutuu tekemään kohteen vastaava pohjarakennesuunnittelija – joten mittajaan tulkinnot ovat hyvin oleellisia pohjarakenne suunnittelijalle



Kiitoksia! Kysymyksiä?

**luotettava
kumppani[®]**
vastuu group