



Väylävirasto
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisu
38/2020

KOEKUORMITUSTEN VERTAILU

Paalujen staattisen ja dynaamisen
koekuormituksen vertailu



Koekuormitusten vertailu

Paalujen staattisen ja dynaamisen
koekuormituksen vertailu

Väyläviraston julkaisuja 38/2020

Väylävirasto

Helsinki 2020

Kansikuva: Jussi Kinnunen, Destia Engineering Oy

Verkojulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-317-792-5

Väylävirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Esipuhe

Tutkimushankkeen tarkoituksena oli tutkia ja vertailla Suomessa käytettäviä paalujen koekuormitusmenetelmiä. Tutkimushankkeen suunnittelivat ja toteuttivat Jussi Kinnunen Destia Engineering Oy:ltä ja Teemu Riihimäki Junttan Oy:ltä.

Tutkimushanketta oli rahoittamassa ja tukemassa Väylävirasto, Suomen Geoteknillinen yhdistys, Destia Engineering Oy, Junttan Oy, HTM Oy, SSAB Europe Oy, Kiwa Inspecta Oy, Skanska Oy ja Kreate Oy.

Helsingissä kesäkuussa 2020

Väylävirasto

Infra- ja ympäristöosasto/Tie- ja geotekninen yksikkö

Sisältö

1	JOHDANTO	5
2	KOEKOHDE JA -JÄRJESTELYT.....	6
2.1	Koejärjestelyt	6
2.1.1	Paalujen asennus.....	7
2.1.2	Vastavoimarakenne	7
2.1.3	Koekuormitukset.....	8
2.2	Pohjatutkimustulokset.....	10
2.2.1	Kairaukset	10
2.2.2	Maanäytteet.....	11
2.2.3	Pohjavesiputket.....	12
3	KOEKUORMITUSTULOKSET	13
3.1	Dynaamiset koekuormitukset	13
3.2	Signaalinsovitukset	14
3.3	Staattiset koekuormitukset	15
3.3.1	Teräsbetonipaalu.....	15
3.3.2	Teräspaalu.....	16
4	TULOKSIEN ANALYSOINTI.....	18
4.1	Koekuormitusmenetelmien keskinäinen vertailu	18
4.2	Kärkivastus signaalinsovituksessa.....	21
4.3	Avoimen ja suljetun paalun geoteknisen kestävyuden vertailu	21
4.4	Ajan vaikutus paalun geotekniseen kestävyyteen.....	22
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	25
	LÄHTEET	27
	LIITTEET	
Liite 1	Pohjatutkimustulokset	
Liite 2	Dynaamisten koekuormitusten tulosteet	
Liite 3	Signaalinsovitusten tulokset	
Liite 4	Venymä- ja kiihtyvyyssantureiden kalibrointitodistukset	
Liite 5	Voima-anturin kalibrointitodistus	

1 Johdanto

Suomessa paalujen geoteknisessä mitoituksessa käytetään Eurokoodi-järjestelmää. Järjestelmässä paalun mitoitus voidaan tehdä sekä dynaamisella että staattisella koekuormituksella. Suunnittelujärjestelmässä on asetettu korrelaatiokertoimet koemenetelmien luotettavuuden mukaisesti.

Suomessa on tehty hyvin vähän staattisen ja dynaamisen koekuormituksen vertailuja samassa kohteessa ja identtisille paaluille. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää samassa kohteessa lyötyjen teräsbetoni- ja teräspaalujen geotekninen kestävyys staattisella sekä dynaamisella koekuormituksella.

Työn päätavoitteena on selvittää dynaamisen koekuormituksen luotettavuus staattiseen koekuormitukseen nähden kitkapaaluilla. Tällä kokeella on myös tarkoitus selvittää ja varmentaa dynaamisen koekuormituksen korrelaatio- ja mallikertoimien oikea kansallinen taso. Käytössä olevat korrelaatio- ja mallikertoimet on esitetty standardin EN1997-1 Geotekninen suunnittelu kansallisessa liitteessä. Työ tehtiin asentamalla teräs- ja teräsbetonipaaluja koekentälle, ja samoille paaluille tehtiin sekä staattinen- että dynaaminen koekuormitus.

Lisäksi työn tavoitteena on selvittää paalun kärki- ja vaippavastuksen jakaumaa. Tämä tehtiin instrumentoimalla yksi koekuormitettavista teräsputkipaaluista venymäliuskoilla kärjen läheltä, jolloin paalun kärkivastuksen ja vaippavastuksen määrä saatiin selvitettyä. Toisaalta kohteessa asennettiin myös yksi paalu ilman kärkeä, jolloin avoimen putkipaalun kärjen toimintaa voitiin verrata suljetun paalun toimintaan. Paalujen vaippa- ja kärkikestävyydet ja niiden jakauma selvitettiin signaalinsovituksen avulla.

Paalut asennettiin koekentälle ja paaluille tehtiin asennuksen jälkeen dynaaminen koekuormitus. Myöhemmin noin kolmen viikon kuluttua paaluille tehtiin staattinen koekuormitus ja tämän jälkeen myös dynaaminen koekuormitus uudelleen. Koetulosten perusteella arvioitiin myös ajan vaikutusta paalujen geoteknisen kestävyiden kasvuun.

2 Koekohde ja -järjestelyt

Tutkimuksen kenttäkokeet suoritettiin Ahvenistolla, Hämeenlinnassa. Koekohde sijaitsee Ahvenistontielle, Ahveniston pitkittäisharjun liepeillä. Koekohde on esitetty karatalla kuvassa 1. Koekohteeseen ollaan rakentamassa uutta Ahveniston keskussairaala.

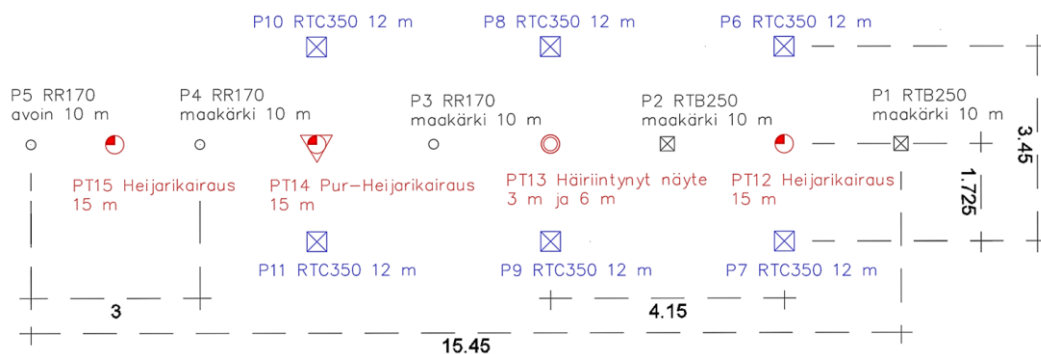


Kuva 1. Koekohteen sijainti kartalla (asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka).

Seuraavissa alaluvuissa on esitetty kenttäkokeiden koejärjestelyt ja koekohteessa suoritettut pohjatutkimukset. Koejärjestelyjen osalta esitetään koe- ja vetopaalujen asennus, vastavoimarakenteet sekä koekuormitusinstrumentit.

2.1 Koejärjestelyt

Koekuormituksia varten kohteeseen asennettiin 2 kpl RTB-250-16 teräsbetoni-paalua ja 3 kpl RR170/10 teräspuikipaalua koepaaluiksi ja vetopaaluiksi 6 kpl teräsbetonisia RTB-350-16 paaluja. Vetopaaluja käytettiin koekuormituksissa tunkkauksen vastapainona. Kuvassa 2 on esitetty paalujen sijoittelu.



Kuva 2. Paalujen ja pohjatutkimuspisteiden sijoittelu.

Vetopaalujen keskiötäisyys leveysuunnassa oli 4,15 m ja korkeusuunnassa 3,45 m. Koepaalujen keskiötäisyys oli 4,15 m, lukuun ottamatta paalujen P4 ja P5 välistä etäisyyttä, joka oli 3,0 m. Vetopaalujen minimietäisyys koepaaluista oli 2,7 m.

2.1.1 Paalujen asennus

Kaikki paalut asennettiin 17.2.2020. Ensin asennettiin teräsputkipaalut, jonka jälkeen asennettiin vetopaalut ja viimeisenä koekuormitettavat teräsbetoni-paalut. Paalujen asennuksessa käytettiin Junttan PM25 peruskonetta, joka oli varusteltu Junttan HHK 5A hydraulijärkäleellä. Paalut oli varusteltu maakärjillä, lukuun ottamatta koepaalu P5, joka asennettiin kärjestään avoimena. Koepaalut upposivat todella helposti tavoitetasoon.

Taulukossa 1 on esitetty koepaalujen loppulyöntipainumat viimeiselle metrille ja kokonaislyöntimäärä koko asennukselle. Loppulyönnit ilmoitettiin kokonaisuudessaan viimeiselle metrille, koska paalut upposivat helposti ja jokaisella 10 iskun sarjalla loppulyöntipainuma oli erisuuruinen.

Taulukko 1. Koepaalujen kokonaislyöntimäärät ja loppulyönnit.

Paalu-numero	Paalu-tyyppi	Kokonais-lyöntimäärä	Lyöntimäärä viimeiselle metrille	Pudotus-korkeus [cm]	Loppulyönnit [mm/10 lyöntiä]
P1	RTB-250-16	425	65	20	154
P2	RTB-250-16	480	60	20	167
P3	RR170/10	192	30	20	333
P4	RR170/10	174	48	10	208
P5	RR170/10 avoin	145	31	10	323

Vetopaalujen asennuksessa lyöntimäärät kasvoivat merkittävästi. Kokonaislyöntimäärät vetopaaluilla olivat 760-1490 kpl välillä 30 cm pudotuskorkeudella. RTC-350-16 paalut syrjäyttävät ja tiivistävät maata paljon enemmän, joten paalujen upotuksesta tulee työläämpää. Koekuormitusten kannalta tämä oli hyvä asia, koska tällöin paalujen geotekninen vetokestävyys oli myös korkeampi.

2.1.2 Vastavoimarakenne

Vetopaalujen yläpäähän hitsattiin HEB-palkistot, joiden välityksellä koepaalujen staattisessa koekuormituksessa tarvittava puristusvoima välitettiin veto-paaluille pystysuoraksi vetokuormaksi. Vetopaalujen yläpäät oli varusteltu noin 20 mm vahvalla teräslevyllä, joka oli ankkuroitu teräsbetonipaaluun samalla tavalla kuin paalujatkokset normaalisti ankkuroidaan.

Vastavoimapalkisto rakennettiin HE450B, S355J2H palkista. Palkit hitsattiin kiinni vetopaalujen yläpäiden teräslevyihin täyteen ainevahvuuteen. Tunkin kohdalla poikkipalkki jäykistettiin uumastaan RHS-putkella, jotta mahdollinen kuorman epäkeskisyys ei aiheuta muodonmuutoksia palkin laipalla. Kuvassa 3 on esitetty vastavoimarakenne tunkkaustilanteessa.



Kuva 3. Vastavoimarakenne tunkkaustilanteessa.

Ensimmäiseksi koekuormitettiin staattisesti teräsputkipaalu P3, jolloin HE-palkit hitsattiin kiinni vetopaalujen P10-P11 ja P8-P9 yläpäihin. Tämän jälkeen poikkipalkki kiinnitettiin keskeisesti pitkittäispalkkien alle koepaalun kohdalle. Teräsbetonisen koepaalun P2 staattista koekuormitusta varten pitkittäispalkki paalujen P10-P11 väliltä irrotettiin ja siirrettiin vetopaalujen P6-P7 välille. Samoin poikkitaipalkki siirrettiin teräsbetonipaalun kohdalle. Samoja palkkeja pystytettiin käyttämään molemmissa staattisissa koekuormituksissa ja palkkimenekkiä pystytettiin vähentämään.

2.1.3 Koekuormitukset

Koepaaluille suoritettiin dynaamisia ja staattisia koekuormituksia. Paalujen asennuksen jälkeisenä päivänä 18.2.2020 suoritettiin kaikille viidelle koepaalulle P1-P5 dynaamiset koekuormitukset, eli noin vuorokauden kuluttua paalun asennuksesta. Koekuormitusten tulokset on esitetty kootusti luvussa 3.

Staattiset koekuormitukset suoritettiin 9-10.3.2020. Staattinen koekuormitus suoritettiin teräsputkipaalulle P3 9.3.2020 ja teräsbetonipaalulle P2 10.3.2020. Staattisten koekuormitusten jälkeen kaikille koepaalulle suoritettiin dynaamiset koekuormitukset 10.3.2020.

Toisella dynaamisen koekuormituksen kierroksella paalujen asennuksen ja dynaamisten koekuormitusten välillä oli siis noin 22 vuorokautta. Staattiset koekuormitukset suoritettiin 21 (P3) ja 22 (P2) vuorokauden kuluttua paalujen asennuksesta.

Dynaamisissa koekuormituksissa käytetyn laitteiston kauppanimi on Pile Driving Analyzer®-Model 8G. Koekuormitukset suoritettiin käyttäen kahta venymä- ja kiihtyvyyssanturia. Dynaamiset koekuormitukset suoritettiin standardin EN-ISO

22477-4 mukaisesti. Antureiden kalibrointitodistukset on esitetty liitteessä 5. Koekuormituksissa paalun painuma mitattiin käyttäen laserosoitinta.

Staattinen koekuormitus suoritettiin 200 tonnin tunkilla. Kuormituksen suuruutta mitattiin voima-anturilla. Koekuormitusportaiden kestonä käytettiin vähintään 15 minuuttia ja kuormitusporrasta nostettiin, vasta kun paalun painuma pysähtyi, pysähtymiskriteerinä käytettiin EN 1997-1 ja EN-ISO 22477-1 painumanopeutta 0,005mm/min. Painumanopeuskriteerin seuraaminen oli kuitenkin hankalaa, koska voima ei pysynyt vakiona kuormitusportailla. Kokeessa ei käytetty EN ISO 22477-1 suosituksen mukaista 60 minuutin porrasta, koska paalun painuma pysähtyi jo aiemmin.

Voima-anturin kalibrointitodistus on esitetty liitteissä 6. Voima-anturin tuloksia verrattiin koekuormituksen aikana myös paineanturin lukemiin. Paalujen siirtymiä seurattiin Novotechnik TRS 100 siirtymäantureilla (mittaustarkkuus noin 0,01 mm). Koekuormitettavien paalujen pystysuuntaista siirtymää mitattiin kahdella siirtymäanturilla sekä vaakasiirtymää kahdella mekaanisella mittakellolla. Vetopaalun siirtymää mitattiin yhdellä siirtymäanturilla.

Teräsputkipaalu P3 oli instrumentoitu kärjestään kahdella venymäliuskaparilla, eli niin sanotuilla ristiliuskoilla. Ristiliuskat olivat tyypiltään Kyowa-5-120-D16. Ristiliuskat oli kytketty täyssiltakytkennällä. Kuvassa 4 on esitetty liimalla putken sisäpuolelle kiinnitetyt ristiliuskat. Signaali ristiliuskoista ja siirtymäantureista kerättiin HP Agilent 34970A logger-yksikön avulla. Logger-yksikköä ohjattiin ja data prosessoitiin Daisy Lab -ohjelmistolla. Logger-yksiköllä mitausvälinä käytettiin viittä sekuntia.



Kuva 4. Ristiliuskat liimattuna putken sisäpuolelle kärjen tuntumaan.

Ristiliuskojen avulla selvitettiin paalun kärjen kokoonpuristuma staattisessa koekuormituksessa, oisssonin vakion 0,3 ja keskimääräisen liuskavakion 2,1 avulla. Kokoonpuristuman avulla pystyttiin määrittämään jännitystila paalun kärjessä Hookeen lain mukaan ($\sigma = E \times \epsilon$). Jännityksen avulla pystyttiin määrittämään liuskojen kohdalla paalussa vaikuttava voima, kun tiedettiin paalun poikkileikkausala.

2.2 Pohjatutkimustulokset

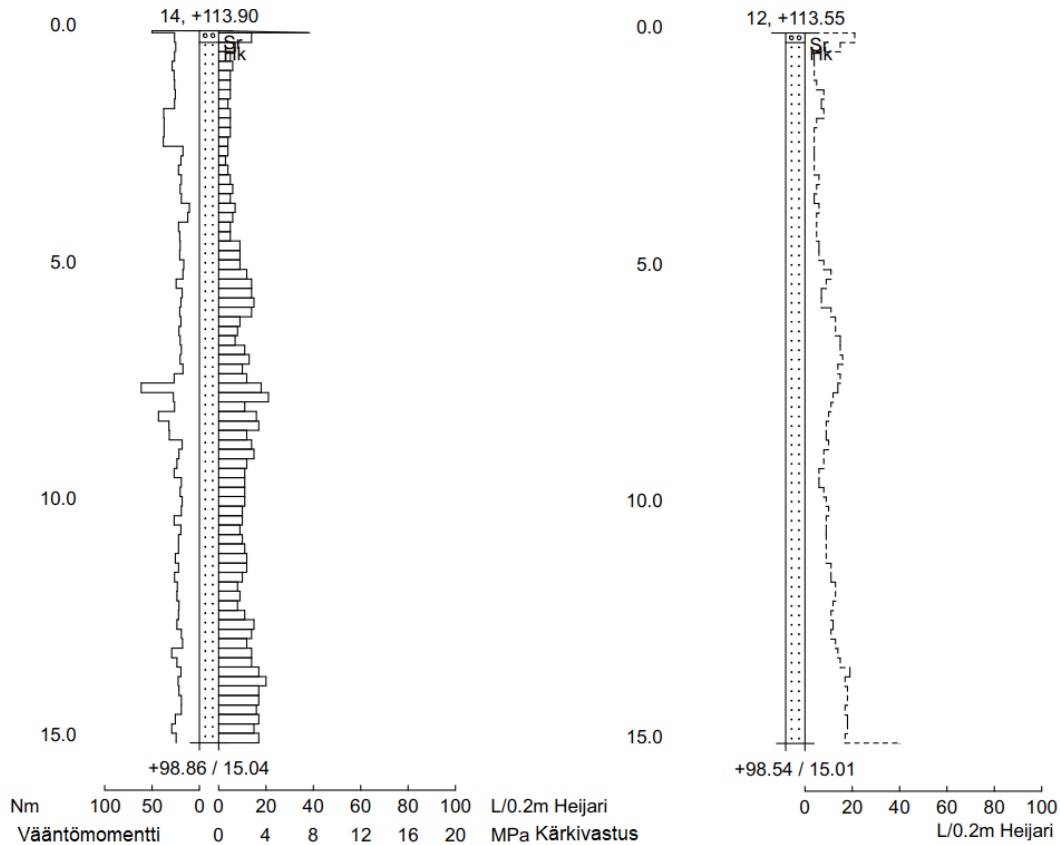
Koekohde sijaitsee Ahveniston pitkittäisharjun liepeillä. Eteläisessä Suomessa pitkittäisharjut ovat luoteesta kaakkoon suuntautuvia, ja ne ovat syntyneet jääkauden muodostamien jäätiköiden sulaessa ja vetäytyessä kohti jäätiköitymiskeskusta.

Kohteessa maanpinnan taso vaihtelee välillä +113,5-114,2. Koekentällä maanpinta vietti harjun laen suuntaan ja oli noin 0,5 m korkeammalla teräsputki-paalujen kohdalla kuin teräsbetonipaalun P1 kohdalla.

2.2.1 Kairaukset

Tutkimuksen yhteydessä suoritettiin yhteensä 3 kpl puristinheijarikairauksia ja 2 kpl heijarikairauksia. Puristinheijarikairaukset suoritettiin pisteissä PT12, PT14 ja PT15 ja heijarikairaukset pisteissä PT12 ja PT15. Pisteiden sijainti on esitetty kuvassa 2. Kaikki kairaukset päätettiin tavoitetasoon, joka oli 15 m syvyydessä työskentelytasolta.

Kairauspisteiden välillä ei esiintynyt merkittävää vaihtelua tutkimustuloksissa. Kaikissa pisteissä heijarikairausvastus vaihteli välillä 5-25 lyöntiä/0,2 m. Vastus kasvoi melko tasaisesti syvemmälle mentäessä. Pisteessä 12 on havaittavissa noin 7-8 m syvyydessä arviolta 2 m paksu kerros, jossa kairausvastus kasvoi 5-10 lyöntiä/0,2 m. Kuvassa 5 on esitetty pisteessä PT14 tehdyn puristinheijarikairauksen ja pisteessä PT12 tehdyn heijarikairauksen diagrammit.

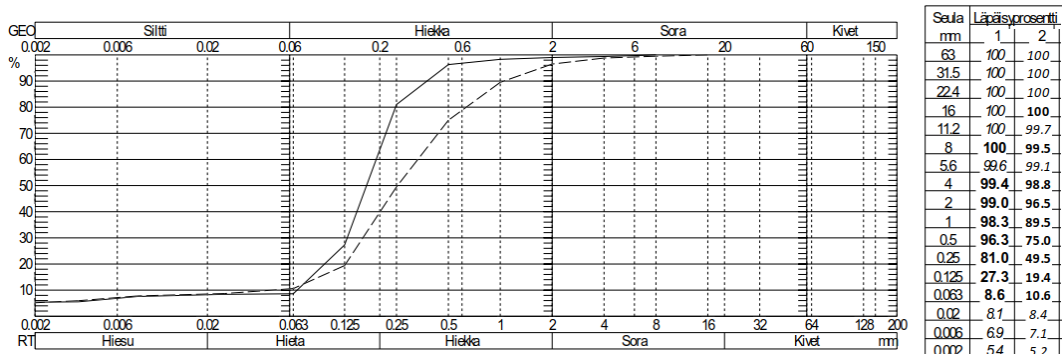


Kuva 5. Puristinheijarikairaus pisteessä PT14 ja heijarikairaus pisteessä PT12.

Kairauksien tulokset kulkevat käsikädessä paalujen upotuksessa tehtyjen havaintojen ja toteutuneiden upotuslyöntimäärien kanssa. Kaikki kairausdiagrammit on esitetty liitteessä 1.

2.2.2 Maanäytteet

Kohteessa otettiin kaksi häiriintynyttä maanäytettä pisteestä PT13. Maanäytteet otettiin syvyydväleiltä 2,7-3,4 m ja 5,7-6,4 m. Tarkoituksena oli ottaa kolmas näyte samasta pisteestä syvyydeltä 9 m, mutta kevyellä kairakalustolla ei päästy enää 6 m syvemmälle. Maanäytteiden rakeisuusjakaumat on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Rakeisuusjakauma maanäytteistä pisteessä PT13

Jakaumassa yhtenäisellä viivalla on esitetty 2,7-3,4 m syvyydeltä otettua näytettä ja katkoviivalla 5,7-6,4 m syvyydeltä otettua näytettä. Rakeisuusjakauman mukaan molemmat näytteet ovat hiekkaa, joka sisältää 9-10 % pääosin savesta koostuvaa hienoainesta. Näytteiden välillä ei ole merkittäviä eroja. Maanäytteiden tutkimuselosteet on esitetty kokonaisuudessaan liitteissä 1.

2.2.3 Pohjavesiputket

Tutkimuskohteen lähetyville asennettiin kaksi kappaletta pohjavesiputkia, joista havainnoitiin pohjaveden pinnan tasoa. Pohjavesiputket sijaitsivat noin 100 m etäisyydellä koepaaluista, vastakkaisissa suunnissa koepaaluista katsottuna. Pohjavesiputket asennettiin pitkittäisharjun suuntaisesti, putki 3 koepaaluja ylemmäs harjun lakea kohti ja putki 2 koepaalujen suhteen alemmaksi harjun laelta katsottuna.

Putken 2 yläpää oli tasossa +112,99 ja alapää tasossa +90,69. 15.3.2020 suoritetuissa mittauksissa pohjaveden pinta oli tasolla +95,66. Putken 2 yläpää oli tasossa +118,60 ja alapää tasossa +99,30. Tämä putki oli 15.3.2020 suoritetuissa mittauksissa kuiva. Kaikki paalut olivat siis pohjavedenpinnan yläpuolella.

3 Koekuormitustulokset

3.1 Dynaamiset koekuormitukset

Paalut koekuormitettiin ensimmäisen kerran vuorokausi asennuksen jälkeen 18.2.2020. Iskuaaltomittauksessa käytetyn laitteiston kauppanimi on Pile Driving Analyzer®-Model 8G. Paaluille mobilisoituvaa staattista vastusta arvioitiin CASE-menetelmällä RMX-estimaattia ja vaimennuskerrointa $J_c=0,6$ käyttäen. Mittauksissa käytettiin 2 kiihtyvyyttä ja 2 venymäanturia. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 2 ja mitatut iskuaaltokuvaajat on esitetty liitteissä 2.

Taulukko 2. Dynaamisen koekuormituksen tulokset 18.2.2020.

Paalu-numero	Paalu-tyyppi	Lyöntienergia [kNm]	DMX [mm]	Pysyvä painuma [mm]	RMX $J_c=0,6$ [kN]
P1	RTB-250-16	28,2	33	25	788
P2	RTB-250-16	36,7	43	39	738
P3	RR170/10	22,9	52	53	389
P4	RR170/10	31,5	60	60	462
P5	RR170/10 avoin	23,4	48	40	459

Paalut koekuormitettiin uudelleen 10.3.2020. Jolloin keskimääräinen odotusaika oli 22 vuorokautta. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 3 ja mitatut iskuaaltokuvaajat on esitetty liitteissä 2.

Taulukko 3. Dynaamisen koekuormituksen tulokset 10.3.2020.

Paalu-numero	Paalu-tyyppi	Lyöntienergia [kNm]	DMX [mm]	Pysyvä painuma [mm]	RMX $J_c=0,6$ [kN]
P1	RTB-250-16	20,7	24	20	861
P2	RTB-250-16	17,3	22	20	731
P3	RR170/10	24,1	53	40	427
P4	RR170/10	21,2	33	30	570
P5	RR170/10 avoin	24,1	38	30	633

Taulukoiden merkinnät:

Lyöntienergia: paaluun siirtynyt energia koekuormitusiskulla [kNm]
 DMX: suurin siirtymä mittaustureiden kohdalla [mm]
 Pysyvä painuma: pysyvä painuma koekuormitusiskulla [mm]
 RMX $J_c=0,6$: mobilisoitunut staattinen vastus RMX estimaatilla CASE-vaimennuskerroin 0,6

3.2 Signaalinsovitukset

Kaikille koekuormitetuille paaluille tehtiin signaalinsovitus (CAPWAP) sekä ensimmäisen, että toisen kierroksen mittaussignaaleille. Signaalinsovitus tehtiin CAPWAP-ohjelmistolla versio 2014-3. Tutkimuksessa signaalinsovitukset on tehty väyläviraston ohjeen 31/2016 mukaisesti. Signaalinsovituksen tulokset on esitetty taulukoissa 4 ja 5 ja analyysin tulokset liitteissä 3.

Taulukko 4. Signaalinsovitus ensimmäinen mittauskierros 18.2.2020.

Paalu-numero	Paalu-tyyppi	SF [kN]	SFu [kPa]	EB [kN]	Jc [-]	RU [kN]
P1	RTB-250-16	602	63	209	0,48	811
P2	RTB-250-16	596	68	149	0,57	745
P3	RR170/10	333	69	55	0,66	388
P4	RR170/10	407	85	55	0,3	462
P5	RR170/10 avoin	428	89	28	0,67	456

Taulukko 5. Signaalinsovitus toinen mittauskierros 10.3.2020.

Paalu-numero	Paalu-tyyppi	SF [kN]	SFu [kPa]	EB [kN]	Jc [-]	RU [kN]
P1	RTB-250-16	672	76	216	0,42	888
P2	RTB-250-16	588	66	138	0,64	726
P3	RR170/10	345	72	84	0,45	429
P4	RR170/10	510	106	58	0,62	568
P5	RR170/10 avoin	576	120	54	0,68	630

Taulukoiden merkinnät:

SF:	paalun vaippavastus [kN]
SFu:	paalun keskimääräinen vaippavastus [kPa]
EB:	paalun kärkivastus [kN]
J _c :	staattista vastusta vastaava CASE-vaimennuskerroin
RU:	paalun kokonaisvastus

3.3 Staattiset koekuormitukset

Staattisten kokeiden aikana vetopaalujen nousua seurattiin siirtymäantureilla ja koekuormitettavan paalun vaakasiirtymiä mekaanisilla mittakelloilla. Siirtymät olivat kokeen kannalta merkityksettömiä, alle 1 mm jokaisella paaluilla.

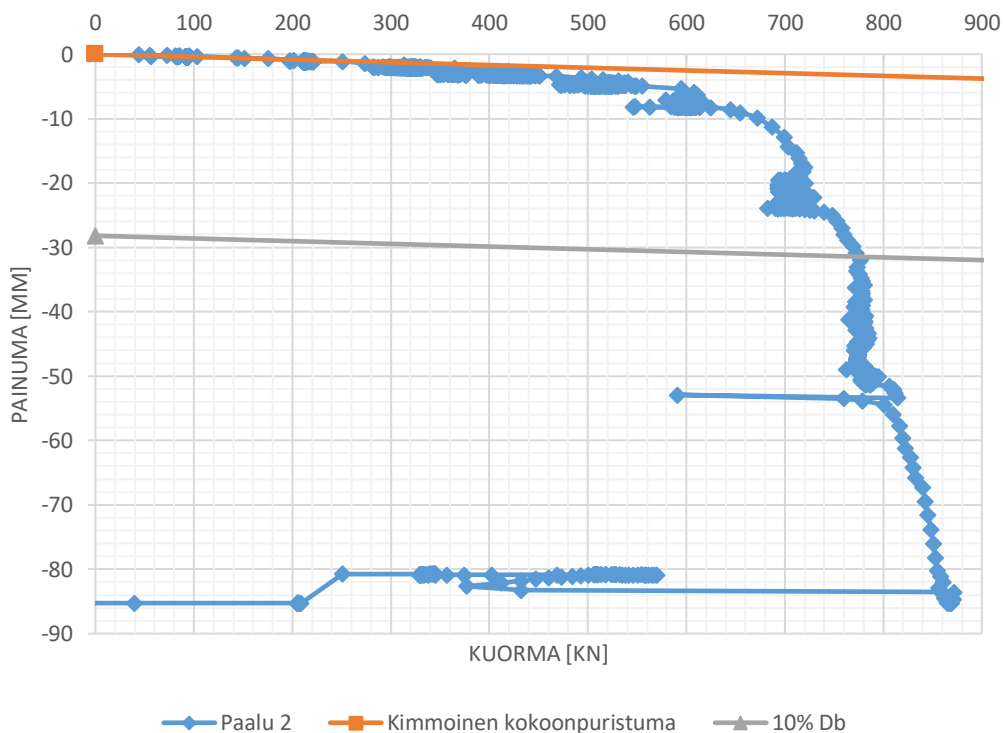
3.3.1 Teräsbetonipaalu

Paalun kimmainen kokoonpuristuma laskettiin käyttäen paalumateriaalin kimmomoduulina 38 000 MPa. Kimmomoduuli on määritetty dynaamisen koekuormituksen perusteella. Standardin EN 1992-1 taulukon 3.1 mukaan kimmomoduuli on betonin puristuslujuuden mukaan määritettynä 35 000 MPa. Oletettavasti betonin lujuus on kuitenkin suurempi kuin lujuusluokan mukainen arvo C40/50. Standardin mukainen kimmomoduulin määrittäminen ei ota huomioon paalun terästä. Teräsbetonipaalun koekuormituksessa paalun ja tunkin välissä käytettiin J-pad lyöntisuoja, jolla kuorma saatiin jakautumaan paalun yläpäähän tasaisemmin.

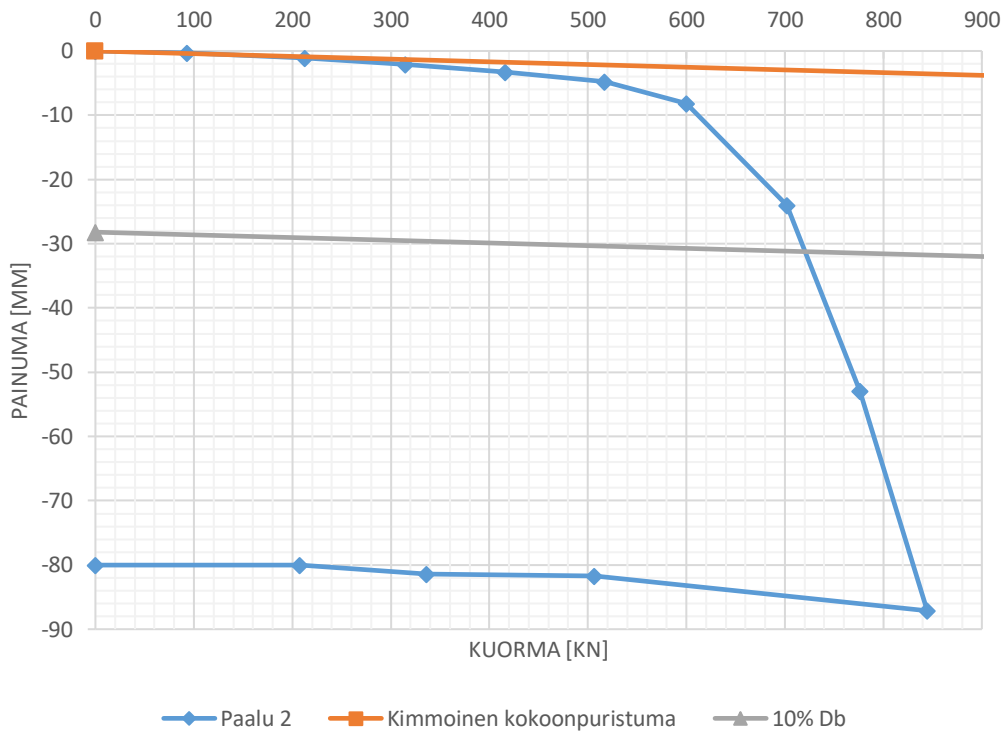
Paalun murtokestävyys on määritetty EN 1997-1 mukaisen kriteerin mukaan. Ekvivalentti paalun halkaisija D_b on laskettu:

$$D_b = \sqrt{\left(\frac{A}{\pi}\right)} \quad (3.1)$$

Kuvassa 7 on esitetty koekuormituksen kuorma-painumakuvaaja (raakadata) ja kuvassa 8 kuorma-painumakuvaaja, jossa pisteinä on esitetty kunkin kuormitusportaan voiman keskiarvo ja painuma kuormitusportaan lopussa.



Kuva 7. Paalun P2 kuorma-painumakuvaaja (raakadata)



Kuva 8. Paalun P2 kuorma-painumakuvaaja.

Toisen siirtymäanturin iskupituus loppui kokeen viimeisellä portaalla, jolloin painumaan käytettiin vain toisen siirtymäanturin tulosta. Toisen siirtymäanturin vuoksi palautusportaiden siirtymädata ei ole tarkka.

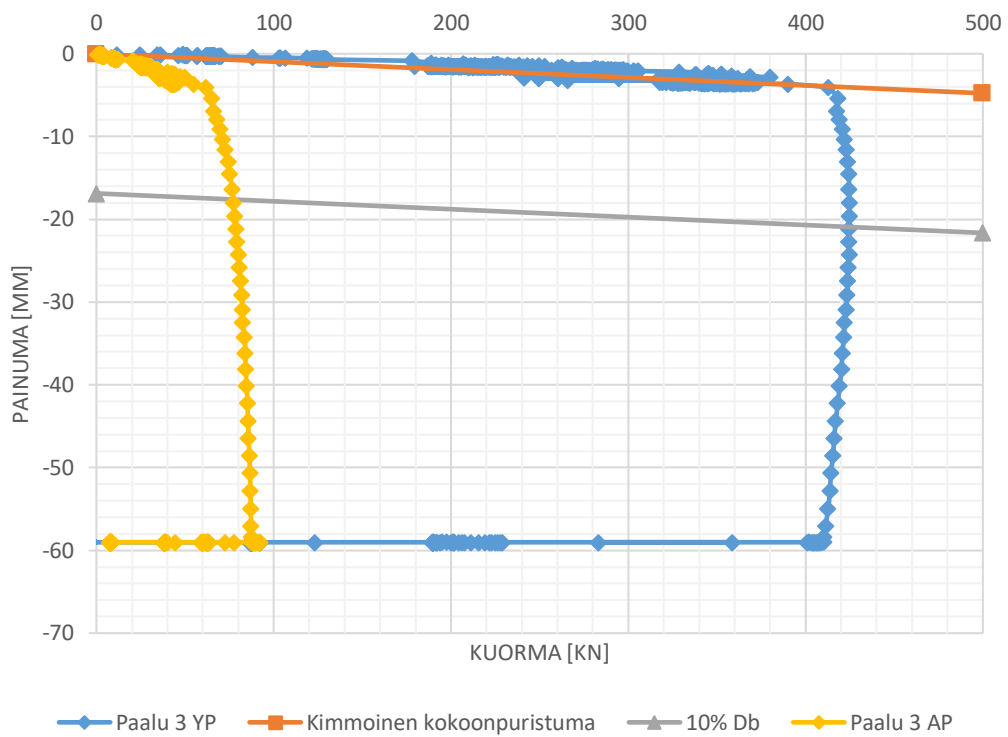
Voima-painuma kuvaajan perusteella EN 1997-1 mukainen geotekninen murtokestävyys $R_{c,m}$ on 720 kN. Raakadastasta määritetty arvo 770 kN.

3.3.2 Teräspaalu

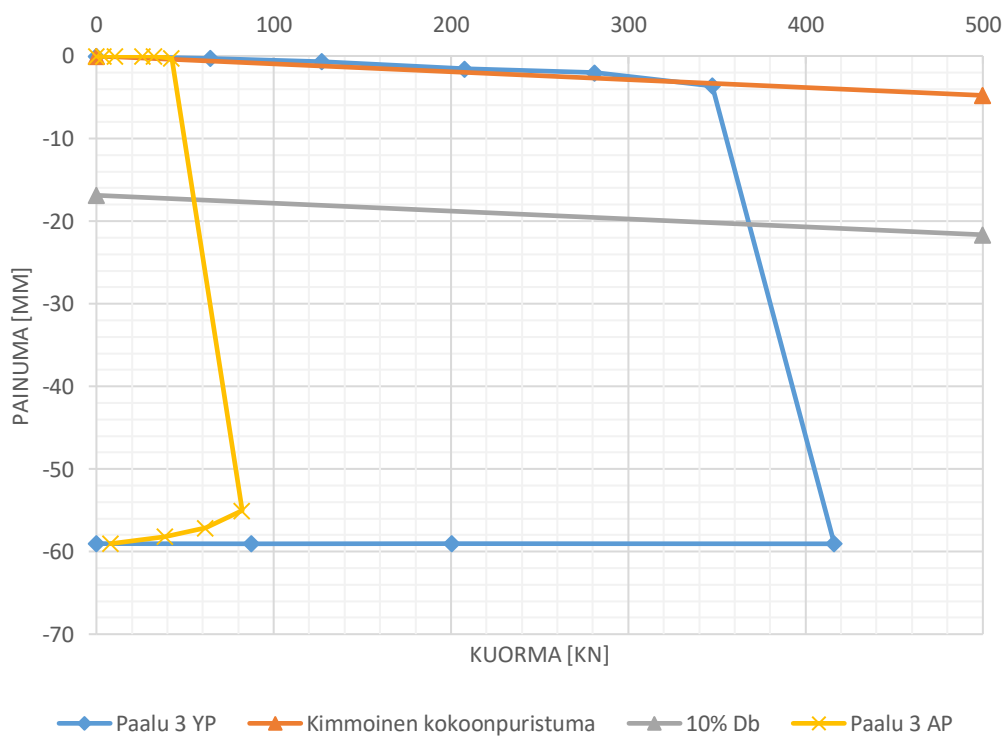
Teräsbetonipaalun ja tunkin välissä käytettiin paaluhattua voiman jakamiseksi paalun yläpäähän tasaisesti. Paalun kimmainen kokoonpuristuma laskettiin käyttäen kimmomoduulia 210 000 MPa.

Kuvassa 9 on esitetty koekuormituksen kuorma-painumakuvaaja (raakadata) ja kuvassa 10 kuorma-painumakuvaaja, jossa pisteinä on esitetty kunkin kuormitusportaan voiman keskiarvo ja painuma kuormitusportaan lopussa.

Lisäksi kuvaajassa on esitetty venymäliuskojen avulla mitattu voima paalun kärjessä. Kärjen siirtymä on laskettu vähentämällä yläpäähän siirtymästä paalun kimmainen kokoonpuristuma kuormitusportaan voiman mukaan.



Kuva 9. Paalun P3 kuorma-painumakuvaaja (raakadata).



Kuva 10. Paalun P3 kuorma-painumakuvaaja.

Kuorma-painumakuvaajan perusteella EN 1997-1 mukainen geotekninen murtokestävyys $R_{c,m}$ on 370 kN. Raakadastasta määritetty arvo 420 kN.

4 Tuloksien analysointi

Tässä luvussa on analysoitu koekuormitusten tuloksia. Eri koemenetelmillä saadut tulokset ovat vertailukelpoisia, koska molemmilla menetelmillä paalut koekuormitettiin murtoon asti. Staattisen koekuormituksen tuloksena vertailussa on käytetty raakadatasta määritettyä murtokuormaa. Kuorman "ryömimisen" vuoksi keskiarvo antaa liian pienen arvon voimalle.

4.1 Koekuormitusmenetelmien keskinäinen vertailu

Koetulokset on koottu taulukkoon 6. Taulukossa on laskettu tuloksen eroavuus staattisen koekuormituksen tuloksista. Dynaamisen koekuormituksen ja signaalinsovituksen (CAPWAP) tulokset poikkeavat +-8 % staattisen koekuormituksen arvoista.

Taulukko 6. Koekuormituksen tulokset paaluille 2 ja 3 sekä prosentuaalinen ero staattisen koekuormituksen tulokseen.

Paalu-numero	Dynaaminen koekuormitus 1 päivä	CAPWAP 1 päivä	Dynaaminen koekuormitus 21 päivä	CAPWAP 21 päivä	Staattinen koekuormitus
P2	738 kN	745 kN	731 kN	726 kN	770 kN
	-4,2 %	-3,2 %	-5,1 %	-5,7 %	
P3	389 kN	388 kN	427 kN	429 kN	420 kN
	-7,4 %	-7,6 %	+1,7 %	+2,1 %	

Koekuormitustulosten perusteella laskettuja paalujen geoteknisen kestävyuden mitoitusarvoja on vertailu taulukoissa 7 ja 8. Korrelaatiokertoimet ja mallikertoimet ovat NCCI 7 mukaisia. Taulukossa 7 on verrattu myös suoraan koepaaluja P2 ja P3, koska referenssipaalujen geotekniset murtokuormat olivat dynaamisten koekuormitusten perusteella molemmilla mittauskerroilla hieman suuremmat kuin varsinaisten koekuormituspaalujen kestävyudet. Tällöin dynaamisen koekuormituksen korrelaatiokerroinena on käytetty $\xi_5 = 1,6$ (yhden paalun koekuormitukselle ei ole määritetty korrelaatiokerrointa).

Taulukko 7. Paalujen geoteknisen kestävyysmitoitussarvot, korrelaatio-kertoimet paalujen lukumäärän mukaan. Määrävä mitoitusarvo lihavoituna.

Paalu- tyyppi	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Teräs- betoni	458 kN	395 kN	387 kN	445 kN	427 kN	363 kN	400 kN
		-13,9 %	-15,6 %	-3,0 %	-6,9 %	-20,9 %	-12,7 %
Teräs	250 kN	247 kN	226 kN	275 kN	227 kN	212 kN	236 kN
		-1,1 %	-9,6 %	+9,9 %	-9,2 %	-15,3 %	-5,4 %

- R1: Staattinen koekuormitus, $R_{c,d}$
Mitoitusarvo staattisen koekuormituksen perusteella $\xi_1 = 1,4$ $\gamma = 1,2$
- R2: Dynaaminen koekuormitus, kaikki paalut, $R_{c,d}$
Toisen mittauskierroksen dynaamisten koekuormitusten mit-
taustulosten keskiarvo (molemmat paalut P1 & P2 ja P3 & P4) ξ_5
 $= 1,6$ $\gamma = 1,2$ ja mallikerroin 1,05 (kitkapaalu)
- R3: Dynaaminen koekuormitus, kaikki paalut, $R_{c,d}$
Toisen mittauskierroksen dynaamisten koekuormitusten
mittaustulosten minimiarvo (molemmat paalut P1 & P2 ja P3 & P4)
 $\xi_6 = 1,5$ $\gamma = 1,2$ ja mallikerroin 1,05 (kitkapaalu)
- R4: Signaalinsovitus, kaikki paalut, $R_{c,d}$
Toisen mittauskierroksen signaalinsovituksen keskiarvo (molem-
mat paalut P1 & P2 ja P3 & P4) $\xi_5 = 1,6$ $\gamma = 1,2$ mallikerroin 1,05
(kitkapaalu) ja mallikerroin 0,9 (signaalinsovitus)
- R5: Signaalinsovitus, kaikki paalut, $R_{c,d}$
Toisen mittauskierroksen signaalinsovituksen minimiarvo (mo-
lemmat paalut P1 & P2 ja P3 & P4) $\xi_6 = 1,5$ $\gamma = 1,2$ mallikerroin 1,05
(kitkapaalu) ja mallikerroin 0,9 (signaalinsovitus)
- R6: Dynaaminen koekuormitus, P2 ja P3, $R_{c,d}$
Toisen mittauskierroksen dynaamisten koekuormitusten mit-
taustulos (koekuormitettu paalu P2 ja P3) $\xi_5 = 1,6$ $\gamma = 1,2$
mallikerroin 1,05 (kitkapaalu)
- R7: Signaalinsovitus, P2 ja P3, $R_{c,d}$
Toisen mittauskierroksen signaalinsovituksen tulos (koekuor-
mitettu paalu P2 ja P3) $\xi_5 = 1,6$ $\gamma = 1,2$ mallikerroin 1,05 (kitkapaalu),
mallikerroin 0,9 (signaalinsovitus)

Taulukko 8. Paalujen geoteknisen kestävyuden mitoitusarvot, korrelaatio-kertoimet paalujen prosenttiosuuden mukaan. Määrävä mitoitusarvo lihavoituna.

Paalu- tyyppi	R8	R9	R10	R11	R12
Teräs- betoni	535 kN	451 kN	464 kN	508 kN	512 kN
		-15,6 %	-13,2 %	-4,9 %	-4,2 %
Teräs	292 kN	283 kN	271 kN	314 kN	303 kN
		-3,1 %	-7,0 %	+7,7 %	+3,8 %

- R8: Staattinen koekuormitus, $R_{c,d}$
Mitoitusarvo staattisen koekuormituksen perusteella $\xi_1 = 1,2$ $\gamma = 1,2$
- R9: Dynaaminen koekuormitus, kaikki paalut, $R_{c,d}$
Toisen mittauskierroksen dynaamisten koekuormitusten mit-
taustulosten keskiarvo (molemmat paalut P1 & P2 ja P3 & P4) $\xi_5 = 1,4$ $\gamma = 1,2$ ja mallikerroin 1,05 (kitkapaalu)
- R10: Dynaaminen koekuormitus, kaikki paalut, $R_{c,d}$
Toisen mittauskierroksen dynaamisten koekuormitusten
mittaustulosten minimiarvo (molemmat paalut P1 & P2 ja P3 & P4) $\xi_6 = 1,25$ $\gamma = 1,2$ ja mallikerroin 1,05 (kitkapaalu)
- R11: Signaalinsovitus, kaikki paalut, $R_{c,d}$
Toisen mittauskierroksen signaalinsovituksen keskiarvo (mo-
lemmat paalut P1 & P2 ja P3 & P4) $\xi_5 = 1,4$ $\gamma = 1,2$ mallikerroin 1,05
(kitkapaalu) ja mallikerroin 0,9 (signaalinsovitus)
- R12: Signaalinsovitus, kaikki paalut, $R_{c,d}$
Toisen mittauskierroksen signaalinsovituksen minimiarvo (mo-
lemmat paalut P1 & P2 ja P3 & P4) $\xi_6 = 1,25$ $\gamma = 1,2$ mallikerroin 1,05
(kitkapaalu) ja mallikerroin 0,9 (signaalinsovitus)

Mitoitusarvojen erot johtuvat eri mitoitusmenetelmille asetettujen korrelaatio-kertoimien eroista. Dynaamista koekuormitusta pidetään epäluotettavampana menetelmänä kuin staattista koekuormitusta.

Kun paalujen kestävyuden mitoitusarvot laskettiin suoraan dynaamisten koekuormitusten tulosten perusteella, olivat ne aina pienemmät kuin staattisten koekuormitusten tulosten perusteella lasketut mitoitusarvot. Vaihteluväli oli -7 % ...-15 %. Signaalinsovitusten tulosten perusteella lasketut mitoitusarvot olivat puolestaan 75 % tapauksissa pienempiä kuin staattisten koekuormitusten tulosten perusteella lasketut mitoitusarvot. Vaihteluväli oli tällöin -9 % ... +4 %.

Tehtyjen kokeiden perusteella korrelaatiokertoimien vertaaminen on haastavaa, koska ainoastaan yksi paalu kummastakin paalutyypistä testattiin sekä dynaamisesti että staattisesti. Korrelaatio koemenetelmien välillä näyttäisi olevan kuitenkin järkevissä rajoissa.

4.2 Kärkivastus signaalinsovituksessa

Signaalinsovituksella saadaan määritettyä dynaamisen koekuormituksen mitaussignaalista paalun kärkivastus ja vaippavastusjakauma. Tutkimustuloksia, kuinka tarkasti kärjen osuus saadaan mallinuksesta, on hyvin vähän. Tämän vuoksi kokeessa instrumentoitiin yksi paalu, jolloin paalun kärkivastus staattisen koekuormituksen aikana saatiin määritettyä.

Signaalinsovituksessa yleinen ongelma on vaippavastuksen alimman segmentin sekoittuminen paalun kärkivastukseen. Tapaus on yleinen paaluilla, jotka eivät painu juurikaan koekuormituksessa ja paalulla on paljon vaippavastusta. Tutkimuksen koekuormituksissa paalut kuitenkin painuivat reilusti, jolloin esitetyn ongelman ei pitäisi esiintyä tutkimuksen paaluilla.

Mitatun venymäliuskadatan perusteella paalun kärkivastuksen maksimiarvoksi saatiin noin 87 kN, kun paalu oli murtotilassa. Signaalinsovituksen perusteella (taulukko 5) paalun kärkivastus oli 91 kN. Tulokset ovat hyvin lähellä toisia ja ainakin tässä tapauksessa signaalinsovitus antaa luotettavan arvion paalun kärkivastuksesta.

Venymäliuskoja ei saada asennettua kuitenkaan aivan paalun kärkeen, vaan noin 150 mm kärjen yläpuolelle. Tämä johtuu siitä, että maakärjelle täytyy jättää vaadittava tila, ettei se irrota venymäliuskoja paalusta. Kärkivastuksen arvo (87 kN) venymäliuskojen perusteella määritettynä esittää kuitenkin maksimi-voimaa, joka vaikuttaa paalussa liuskojen syvyydellä.

4.3 Avoimen ja suljetun paalun geoteknisen kestävyuden vertailu

Avoimella paalulla tulpan pituus paalussa oli 3,0 m. Tulpan pituus määritettiin mittanauhan avulla paalun yläpäästä paalun asennuksen jälkeen. Taulukossa 9 on esitetty avoimen ja suljetun teräspuikupaalun kärkivastukset sekä alimman 3,0 m vaippavastukset ensimmäisellä ja toisella mittauskierroksella signaalinsovitusten perusteella.

Taulukko 9. Avoimen ja suljetun paalun kärkivastuksen erot.

Paalu-numero	Paalu-tyyppi	SF 21 d [kN]	EB 1 d [kN]	EB 21 d [kN]	SF alin 3 m 1 d [kN]	SF alin 3 m 21 d [kN]
P4	RR170/10	510	55	58	123,5	164,5
P5	RR170/10 avoin	576	28	54	99,8	198,0

Avoimella paalulla kärkivastus oli signaalinsovitusten perusteella puolet suljetun paalun kärkivastuksesta ensimmäisellä koekuormituskerralla. Toisella koekuormituskierroksella avoimen paalun kärki- ja vaippavastus ovat likimain tuplaantuneet. Ero suljettuun paaluun tulee alimman 3,0 m vaippavastuksesta,

koska avoimen paalun tulppa muodostaa myös paalun sisäpuolelle vaippavastusta. Tuloksien perusteella suljetun paalun suurempi maata syrjäyttävä vaikutus ei ole merkittävä löyhässä kitkamaassa.

Avoimella paalulla sisäpuolinen maatulppa tarttuu kiinni avoimeen paaluun vaippavastuksen kasvun ja koekuormitusiskujen tiivistävän vaikutuksen ansiosta. Koekuormituksessa tulppa liikkuu paalun sisällä hieman, mobilisoiden paalun sisäpuolisen vaippavastuksen. Tulppa toimii samaan aikaan kuitenkin paalun kärkikappaleen tavoin, muodostaen paalulle selkeän kärkivastuksen.

Kaiken kaikkiaan paalut olivat hyvinkin löysässä hiekkaisessa kerroksessa, jolloin tuloksissa ei ollut havaittavissa selkeää eroa paalumateriaalien tai paalujen tilavuuden välillä. Löyhässä hiekassa paalun pinnan karkeudella tai paalun maata tiivistävällä vaikutuksella ei näytä olevan suurta vaikutusta paalun geotekniseen kestävyYTEEN.

4.4 Ajan vaikutus paalun geotekniseen kestävyYTEEN

Koekuormitettujen paalujen geoteknisen kestävyYTEEN kasvu dynaamisten koekuormituskertojen välillä on esitetty taulukossa 10. Odotusaika oli kaikilla paaluilla siis 20 vuorokautta. Paalut P2 ja P3 kuormitettiin murtoon staattisessa koekuormituksessa ennen dynaamista koekuormitusta. Paalulla P2 aika staattisen ja viimeisen dynaamisten koekuormituksen välillä oli noin 2 tuntia. Paalulla P3 tämä aika oli noin vuorokausi.

Taulukko 10. Paalun geoteknisen kestävyYTEEN kasvu dynaamisten koekuormituksen tuloksien perusteella.

Paalu-numero	Paalu-tyyppi	RMX 1 d Jc 0,6 [kN]	RMX 21 d Jc 0,6 [kN]	Kasvu kN	Kasvu %
P1	RTB-250-16	788	861	73	9,3
P2	RTB-250-16	738	731	-7	-0,9
P3	RR170/10	389	427	38	9,7
P4	RR170/10	462	570	108	23,4
P5	RR170/10 avoin	459	633	174	37,9

Paaluilla geoteknisen kestävyYTEEN kasvu oli 9-37 % 20 vuorokauden aikana. Maltillisia geoteknisen kestävyYTEEN kasvuprosentteja voidaan selittää sillä, että paalut olivat pohjaveden pinnan yläpuolella. Tällöin ei esiinny huokosvedenpaineen tasoittumisesta johtuvaa lyhytaikaista kestävyYTEEN kasvua. Geoteknisen kestävyYTEEN kasvu selittyy siis vain maassa pitkällä aikavälillä tapahtuvista muutoksista, kuten maan ikääntymisestä ja virumasta.

Teräsbetonipaalun P2 staattisessa koekuormituksessa paalu kuormitettiin murtoon noin kaksi tuntia ennen paalun dynaamista koekuormitusta. Tämä selittää negatiivisen geoteknisen kestävyiden kasvun taulukossa 10 esitetyissä tuloksissa. Staattisen koekuormituksen tulos paalulle P2 oli 770 kN, jonka perusteella geotekninen kestävyys olisi kasvanut 4,3 %.

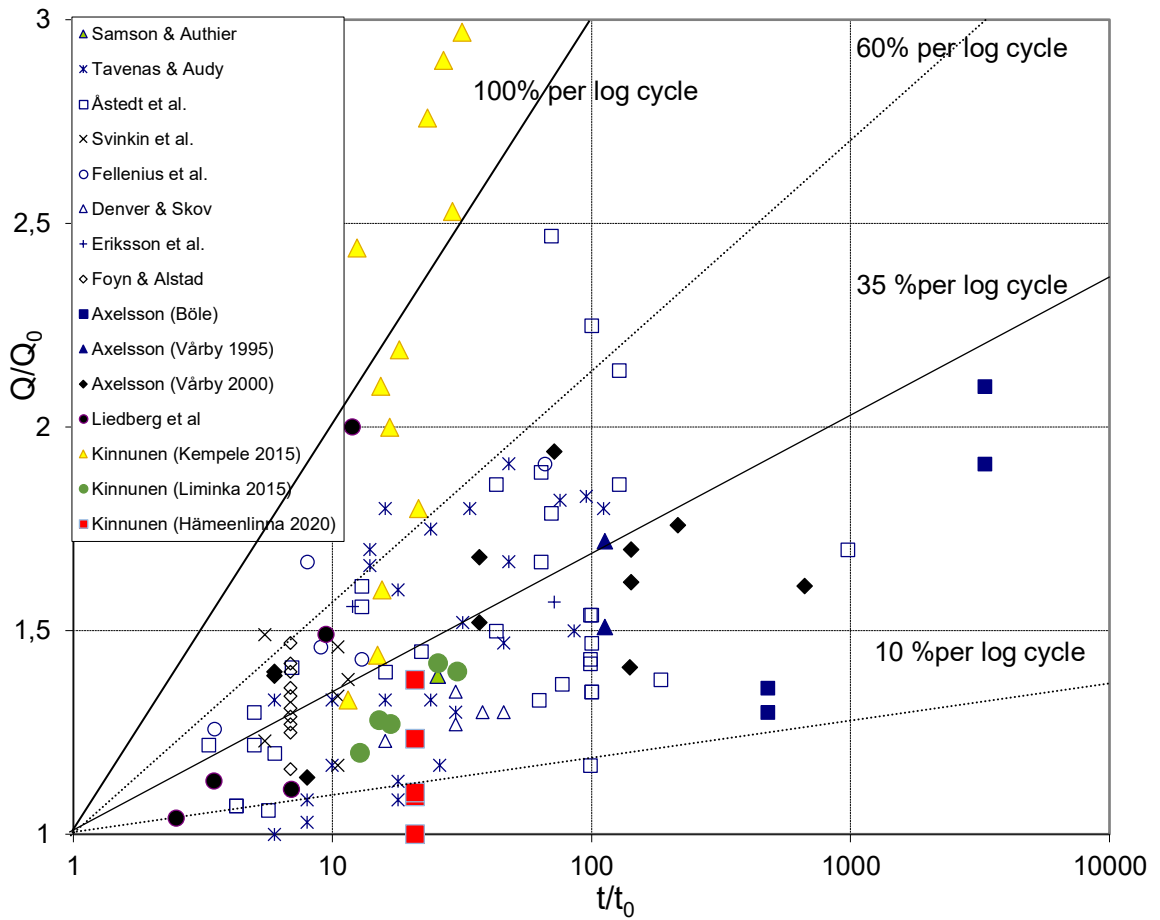
Dynaamisissa koekuormituksissa erityisesti teräspalkkipaalujen pysyvät painumat olivat melko suuria. Tutkimuksien mukaan paalun painumalla koekuormitusiskulla ei ole kuitenkaan vaikutusta RMX-estimaatin antamaan arvoon paalun geoteknisestä kestävydestä. Signaalinsovituksen tekeminen voi olla hankalaa, jos paalun painuma koekuormitusiskulla on suuri.

Taulukossa 11 on esitetty signaalinsovituksen perusteella saatuja geoteknisen kestävyiden kasvun arvoja paalujen vaippa-, kärki- ja kokonaisvastukselle. Kasvuprosentit olivat esimerkiksi paaluilla P3 ja P5 suhteettoman suuria, vaikka absoluuttinen kasvu kN oli hyvinkin maltillinen. Kokonaisvastukselle kasvu kN ja kasvuprosentit olivat käytännössä samat kuin taulukossa 10 esitetyt dynaamisten koekuormitusten perusteella määritetyt arvot.

Taulukko 11. Paalun geoteknisen kestävyiden kasvu signaalinsovituksen perusteella.

Paalu- numero	Paalu- tyyppi	SF Kasvu kN	SF Kasvu %	EB Kasvu kN	EB Kasvu %	RU Kasvu kN	RU Kasvu %
P1	RTB-250-16	70	11,6	7	3,3	77	9,5
P2	RTB-250-16	-8	-1,3	-11	-7,4	-19	-2,6
P3	RR170/10	12	3,6	29	52,7	41	10,6
P4	RR170/10	103	25,3	3	5,5	106	22,9
P5	RR170/10 avoin	148	34,6	26	92,9	174	38,2

Kuvan 11 arvot on esitetty aikaisemmin Axelsson & Baker (2007) ja Kinnunen (2015) keräämien/tekemien tutkimustuloksien kanssa. Mikäli syystäkin poikkeavaa paalun P2 tulosta ei esitetä taulukossa, tulokset seuraavat hyvinkin muissa tutkimuksissa havaittuja geoteknisen kestävyiden kasvuja.



Kuva 11. Tutkimuksen mittaustulokset esitettynä Axelsson & Baker (2007) ja Kinnunen (2015) keräämien/tekemien tutkimustuloksien kanssa.

Tutkimustuloksien perusteella paalujen geotekninen kestävyys kasvaa koe-kohteen olosuhteissa, joskin hyvin maltillisesti. Esitetty kasvu on pitkäaikaista geoteknisen kestävyuden kasvua, johtuen maan ikäännyttämisestä. Nopeaa huokosvedenpaineen alenemisesta johtuvaa kasvua ei kohteen olosuhteissa tapahtunut johtuen pohjavedenpinnan alhaisesta tasosta.

5 Johtopäätökset

Tutkimuksessa saatiin vastaukset tutkittuihin ja selvitettäviin asioihin. Tutkimuksessa selvitettiin dynaamisen koekuormituksen vastaavuus staattiseen koekuormitukseen koekohteen olosuhteissa. Lisäksi saatiin selvitettyä paalujen kärki- ja vaippavastuksen jakaumat sekä signaalinsovituksen antaman kärki-
vastuksen luotettavuus paalujen ollessa melko löysässä.

Tutkimuksessa verrattiin avoimen ja suljetun paalun geoteknisen kestävyiden eroja. Myös paalun geoteknisen kestävyiden kasvua pystyttiin vertaamaan olosuhteissa, jossa pohjavedenpinta on alhaalla ja kasvu johtuu vain pitkäaikaisista tekijöistä.

Tutkimustuloksien perusteella voidaan vetää seuraavia johtopäätöksiä ja toimenpideohjeita:

- Koekuormitusmenetelmät vastaavat toisiaan riittävällä tarkkuudella. Eroavaisuudet johtuivat lähinnä paalujen koekuormitusjärjestyksestä.
- Suomessa käytettäviä korrelaatio- tai mallikertoimia ei ole syytä muuttaa tutkimuksen tuloksien perusteella.
- Tutkimuksen perusteella paalun kärkikestävyys signaalinsovituksen perusteella vastaa instrumentoidun paalun kärkikestävyyttä.
- Avoimen paalun kärkikestävyys on tutkitulla paalulla sama kuin suljetulla paalulla. Avoimella paalulla on lisäksi merkittävästi sisäpuolista vaippavastusta. Avoimen ja suljetun paalun geoteknisessä kestävyudessa ei ole merkittäviä eroja löyhässä kitkamaassa.
- Paalujen geotekninen kestävyys kasvaa, vaikka paalut sijaitsevat pohjavedenpinnan yläpuolella. Geoteknisen kestävyiden kasvu johtuu tällöin pitkäaikaisista tekijöistä, kuten maan ikääntymisestä.
- Tutkimuksen olosuhteissa paalumateriaalien välisiä eroja ei voida luotettavasti verrata, koska paalujen pinnalla vaikuttavat voimat ovat niin matalia. Esimerkiksi paalun tilavuudella ja siten maan syrjäytymisellä ei näytä olevan merkitystä paalujen vaippavastukseen. Paalut sijaitsivat löyhissä kitkamaissa.
- Dynaamisissa koekuormituksissa liian suuret painumat eivät ole toivottavia, koska se hankaloittaa signaalinsovitusten tekemistä. Dynaamisessa koekuormituksessa paalun painumien ei tulisi ylittää 10 % paalun halkaisijasta. Paalun geoteknisen kestävyiden määrittämiseen CASE-menetelmällä suuri painuma ei vaikuta.
- Staattisissa koekuormituksissa paalujen painuma kestävyiden mitoitusarvoilla noudatteli paalun elastista kokoonpuristumaa, vaikka paalun murtokuormalla painumat olivat suuria. Teräsbetonipaalu painui paalun mitoituskestävyttä (458–535 kN riippuen mitoitustavasta) vastaavalla kuormalla noin 4–6 mm ja teräspuutkipaalu vastaavasti (mitoituskestävyys 250–292 kN) painui noin 2 mm.

- Teräsbetonipaalun staattisessa koekuormituksessa ei saavutettu maksimaalista kokonaispainumaa kaikilla kuormitusportilla nopeutetun koekuormitusmenettelyn takia. Tämän vaikutus on kuitenkin hyvin vähäinen ennen paalun murtoa syntyneeseen painuman arvoon ja koekuormituksen perusteella määritettyyn murtokuorman arvoon. Erityisesti kitkapaaluilla paalun painuma käyttörajatilassa on tarkasteltava, koska painuma voi tulla rajoittavaksi tekijäksi paalun mitoituksessa.

Tutkimuksen rajoituksena voidaan pitää melko pientä otantaa, koska staattisesti koekuormitettavien paalujen lukumäärää oli vain kaksi ja dynaamisesti koekuormitettavien paalujen lukumäärä viisi. Lisäksi paalut sijaitsivat pohjavedenpinnan yläpuolella, joka on kuitenkin melko harvinainen tilanne Suomessa. Staattisessa koekuormituksessa ei saatu pidettyä voimaa kuormitusportaalla täysin vakiona, vaan voima vaihteli tunkin takia noin +/- 20 kN koko kuormituksen ajan.

Staattisissa koekuormituksissa koekuormitusportaiden kestonä käytettiin vähintään 15 minuuttia ja kuormitusporrasta nostettiin, vasta kun paalun painuma pysähtyi, pysähtymiskriteerinä käytettiin EN 1997-1 ja EN-ISO 22477-1 painumanopeutta 0,005mm/min. Painumanopeuskriteerin seuraaminen oli kuitenkin haastavaa, koska voima ei pysynyt vakiona kuormitusportaalla. Kokeessa ei käytetty EN ISO 22477-1 suosituksen mukaista 60 minuutin porrasta, koska paalun painuma pysähtyi jo aiemmin.

Tutkimuksen perusteella koekuormitusten tarkempi vertailu ja tarvittaessa korrelaatio- ja mallikertoimien muokkaaminen vaatisi enemmän paaluja, joille on tehty sekä dynaaminen että staattinen koekuormitus. Koekuormitusten vertailut olisi tehtävä lisäksi koheesiomaaperässä ja sellaisissa kitkamaissa, jossa pohjavedenpinta on lähellä maan pintaa.

Jatkotutkimustarpeena on pohjatutkimuksien perusteella tehtävä paalun geoteknisen kestävyuden määrittäminen erilaisissa pohjaolosuhteissa. Lisäksi mielenkiintoista tietoa saataisiin vertailtaessa pohjatutkimustuloksien perusteella määritettyjä paalun geoteknisen kestävyuden mitoitusarvoja ja koekuormitusten tuloksia perusteella määritettyjä mitoitusarvoja.

Lähteet

Axelsson, G. & Baker, S. (2007). Slagna friktionspålar. Pålkommissionen Rapport 103. Linköping. 103 s.

EN 1992-1. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.

EN1997-1. Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt.

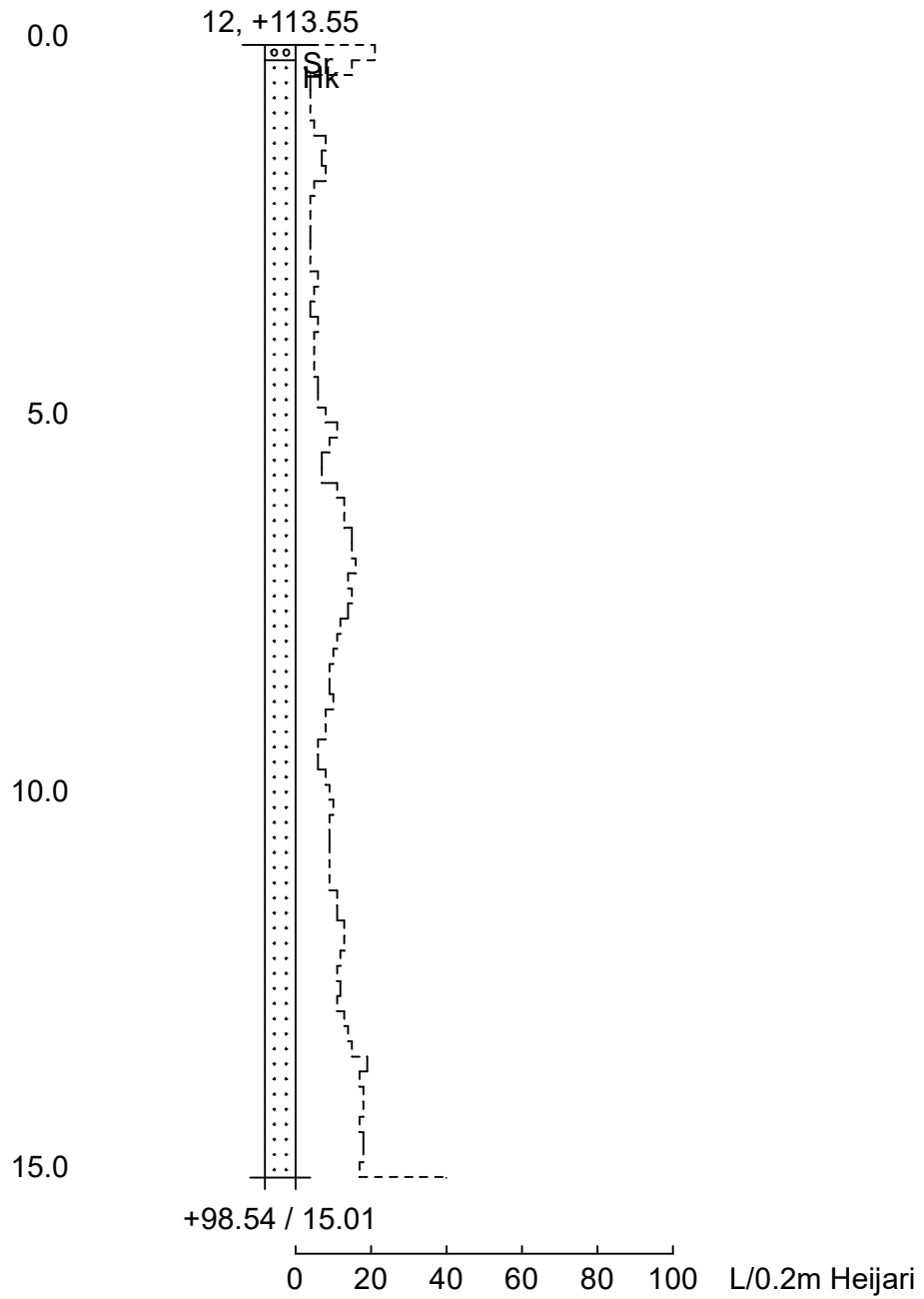
EN-ISO 22477-1. Geotechnical Investigation and testing – Testing of geotechnical structures. Part 1 Testing of piles: Static load testing.

EN-ISO 22477-4. Geotechnical Investigation and testing – Testing of geotechnical structures. Part 4 Testing of piles: Dynamic load testing.

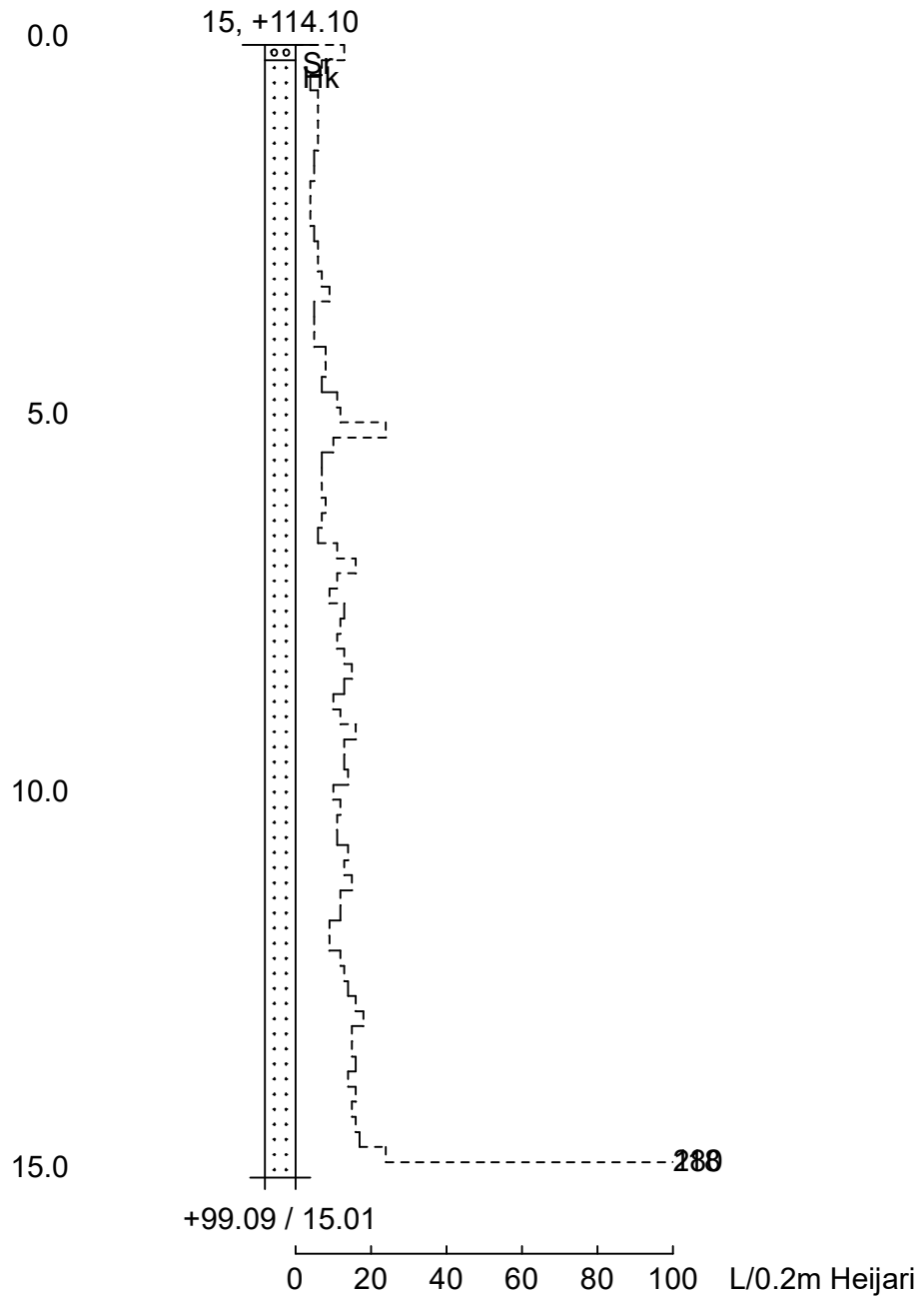
Kansallinen liite (LVM) standardin SFS-EN 1997-1 Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu Osa 1 - Yleiset säännöt: Soveltaminen infrarakenteisiin.

Kinnunen, J. (2015). Ajan vaikutus kitkapaalujen geotekniseen kestävyYTEEN. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 130 s.

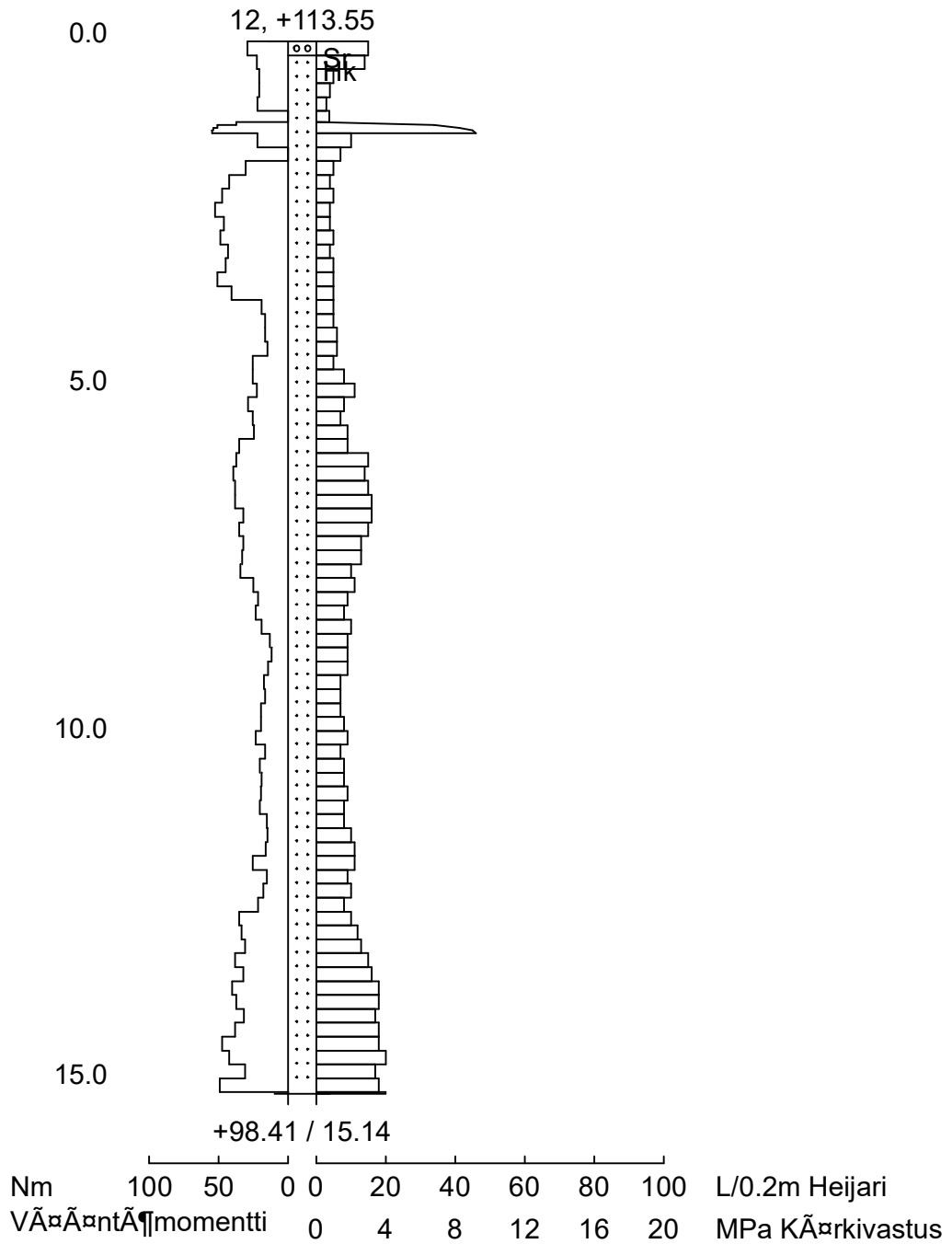
Liikenneviraston ohjeita 31/2016. (2016). Paalujen dynaaminen koekuormitus ja ehjyysmittaus. Liikennevirastovirasto. Helsinki. 83 s.



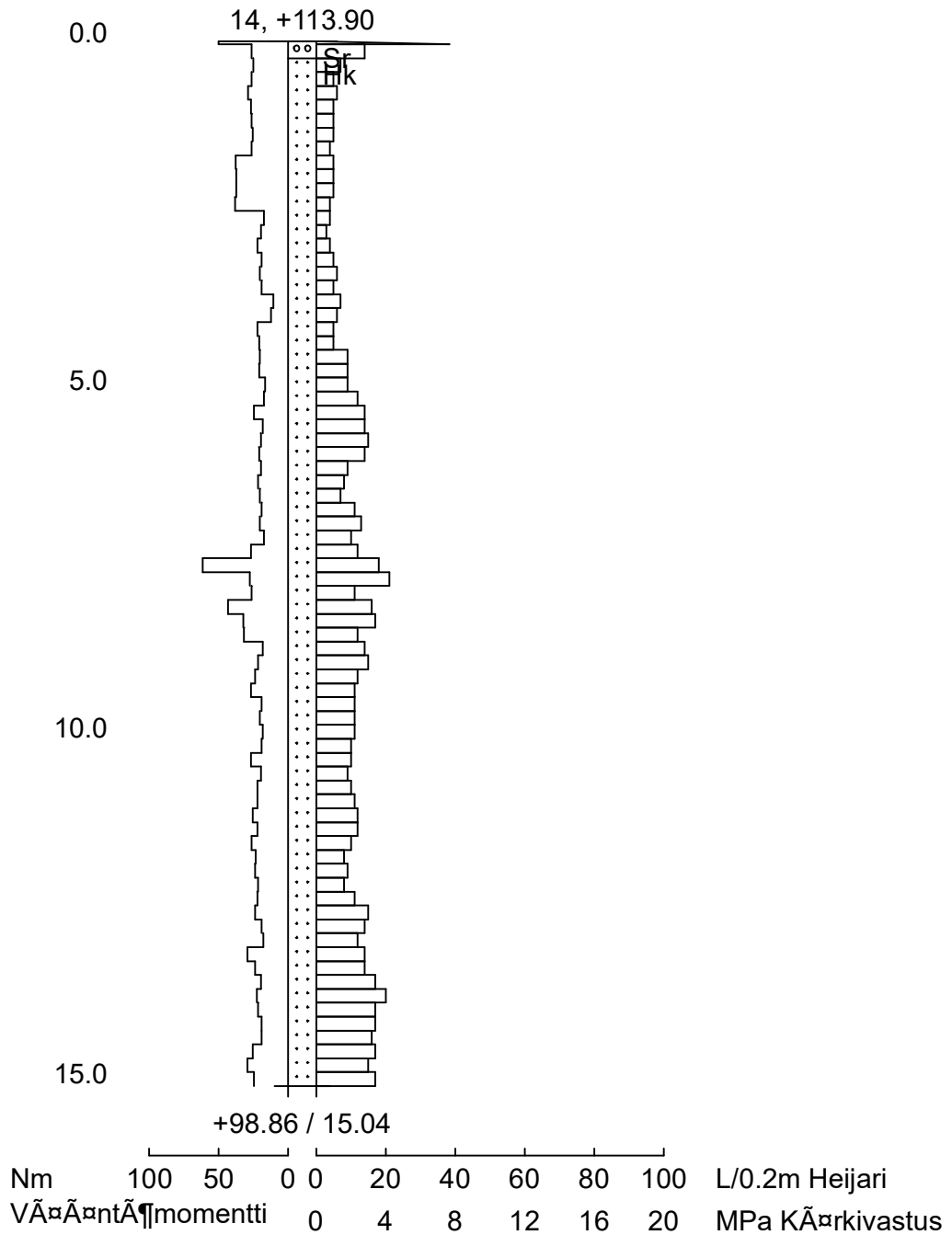
Numero	12	Kairaustapa	KAIRA:HE
X	6764178.009	Mittakaava	1:100
Y	25468427.729	Päivä	14.2.2019



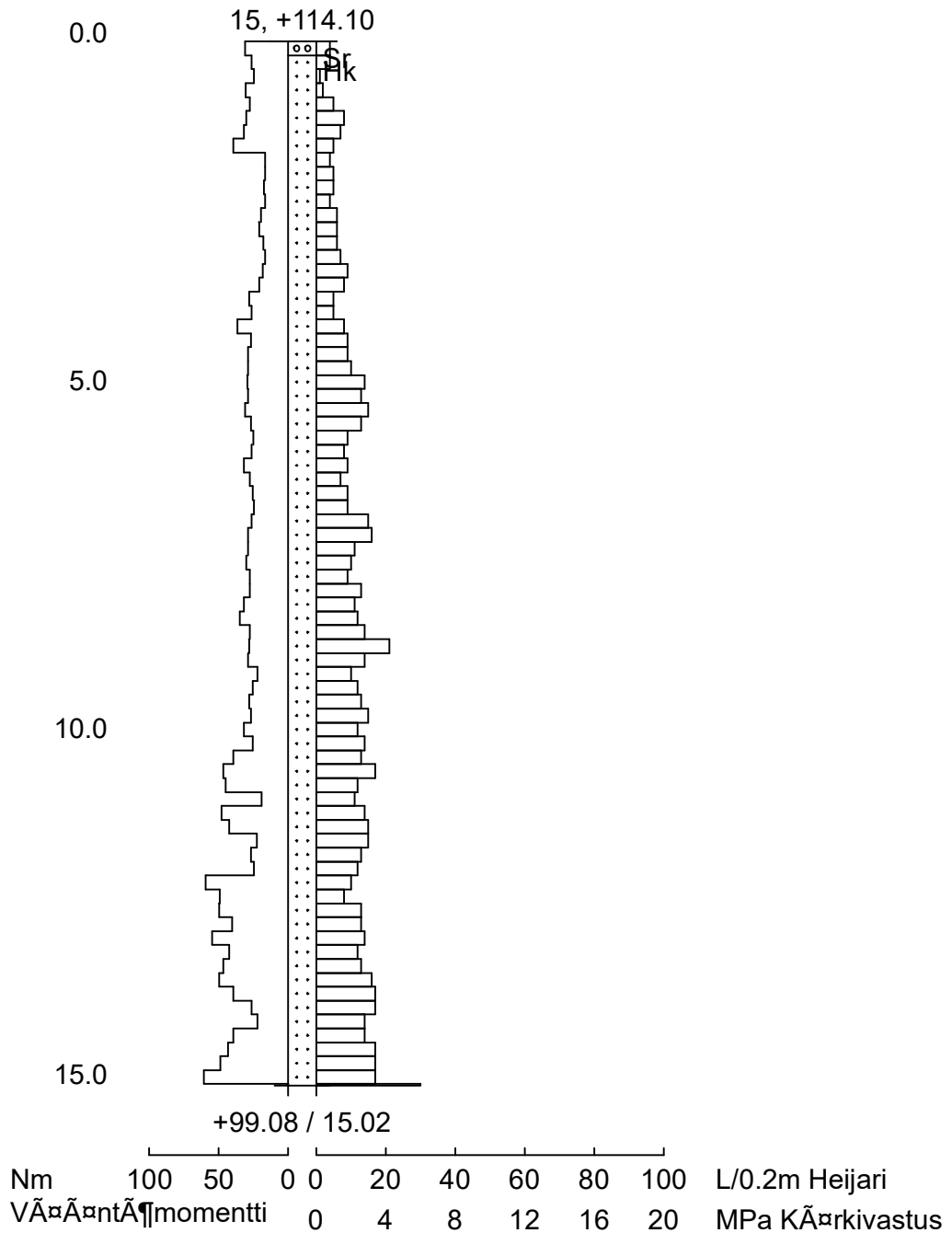
Numero	15	Kairaustapa	KAIRA:HE
X	6764188.421	Mittakaava	1:100
Y	25468421.868	Päivä	14.2.2019



Numero	12	Kairaustapa	KAIRA:HP
X	6764178.009	Mittakaava	1:100
Y	25468427.729	Päivä	13.2.2019



Numero	14	Kairaustapa	KAIRA:HP
X	6764185.282	Mittakaava	1:100
Y	25468423.641	Päivä	13.2.2019



Numero	15	Kairaustapa	KAIRA:HP
X	6764188.421	Mittakaava	1:100
Y	25468421.868	Päivä	13.2.2019

MAANÄYTTEIDEN TUTKIMUSRAPORTTI

Tilaaaja Destia Oy

Projekti Ahveniston sairaala

Piste 13

Paalu

Näytteenottaja Markku Koskenkangas

Näytteen ottopäivä 14.02.2020

Laboratorion työnro 61-2020

24.02.2020



Esa Ärmänen
Hyväksyjä



Erja Kainila
Tutkija

JAKELU jussi.kinnunen@destia.fi

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä



Laboratoriopalvelut

PANK-hyväksytty testausorganisaatio

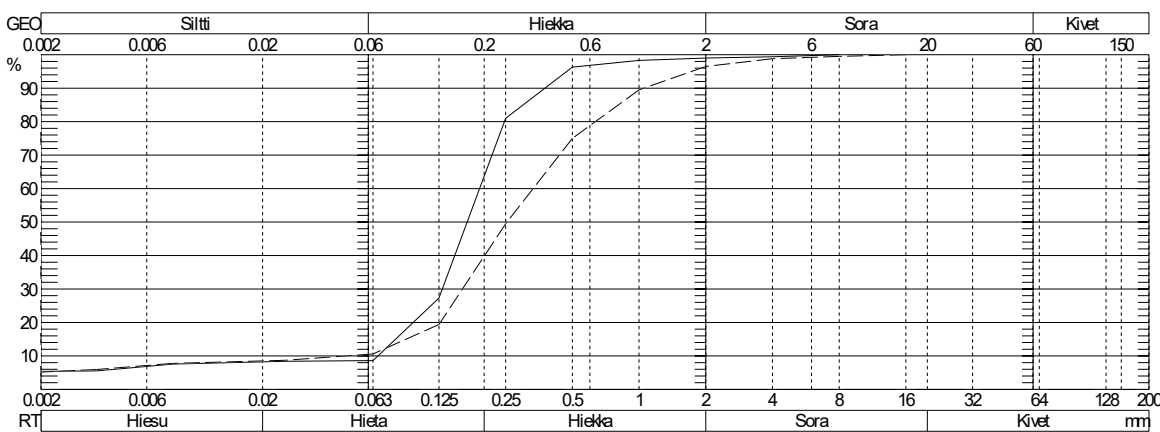
Laboratoriopalveluita vuodesta 1951

TUTKIMUSSELOSTE

Projekti	Ahveniston sairaala	Työnumero	61-2020
Projektinumero	17004	Piste	13
Tilaaaja	Destia Oy	Paalu	
Yhteyshenkilö	Jussi Kinnunen	X	6764181.700
Tielinja/Ohjelma		Y	25468425.695
Näytteenotin	KN1500	Z	113.650

Kuvaajatunnus	_____ 1	----- 2
Tunnus	1	2
Paalu		
Syvyys	2.7-3.4	5.7-6.4
Häiriintyneisyys	NO	NO
Lisätiedot		
Menetelmät	2,3,4,5 (*)	2,3,4,5 (*)
Routivuus GEO	Routimaton	Routiva
Routivuus TIEH-04	Liev. routiva	Liev. routiva
Vesipitoisuus %	8.48	7.00
Humuspitoisuus %		
Kidevesipitoisuus %		
Kantavuusluokka	D	E
Kelpoisuusluokka	H2	H2
Kapillaarisuus		
Kivisyys > 200 mm		
Kivisyys 63-200 mm		
0.063mm läp-%	8.6	10.6
E-moduli MPa	30	15-35
Maalaji (V)	hHk	keHk
Maalaji (Eurokoodi)	Sa	Sa

(*) [1] SFS-EN 933-1 (Kuivaseulonta) [2] SFS-EN 933-1 (Pesuseulonta) [3] PANK-2103 (Hydrometri) [4] SFS-EN 1097-5 (Vesipitoisuus) [5] GLO-85 (Humuspitoisuus)



Sula mm	Läpäisyprosentti			
	1	2	3	4
63	100	100		
31.5	100	100		
22.4	100	100		
16	100	100		
11.2	100	99.7		
8	100	99.5		
5.6	99.6	99.1		
4	99.4	98.8		
2	99.0	96.5		
1	98.3	89.5		
0.5	96.3	75.0		
0.25	81.0	49.5		
0.125	27.3	19.4		
0.063	8.6	10.6		
0.02	8.1	8.4		
0.006	6.9	7.1		
0.002	5.4	5.2		

Huom! Testaustulos koskee ainoastaan testattua näytettä.

Lihavoidut arvot mitattuja

1	
2	

Päiväys 24.02.2020

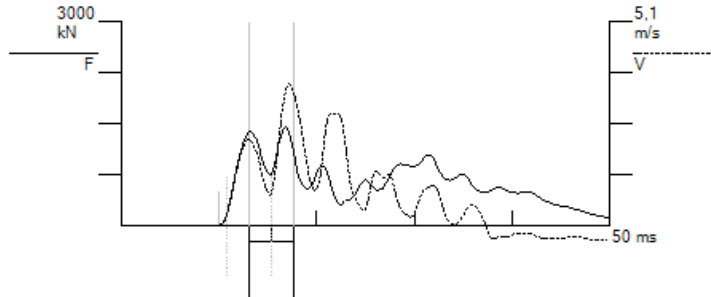
Allekirjoitus

Erja Kainila

Espoon laboratorio
Turuntie 207
02740 Espoo
etunimi.sukunimi@mitta.fi
0409052194

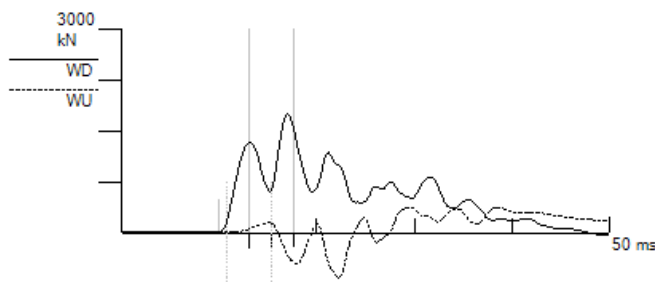
Pile Dynamics, Inc.
 200218TRi Testfield
 P1 250 mm 1 day
 Juntan HHK 5A
 PDA Operator: TRi

Pile Driving Analyzer ® (PDA)
 Version: 2018.30



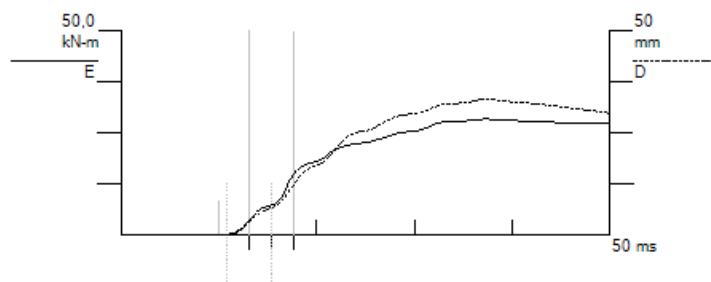
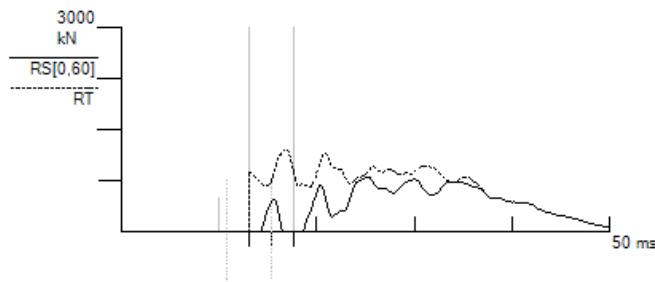
BN 2
 18helmi2020 08.32.13 ap.

FMX	1452 kN
RMX	788 kN
EMX	28,4 kN-m
CSX	23,2 MPa
CSI	28,0 MPa
CSB	16,2 MPa
TSX	0,8 MPa
VMX	3,5 m/s
DMX	33 mm
FVP	1,1



LE	9,2 m
AR	625,00 cm ²
EM	36076 MPa
SP	24,5 kN/m ³
WS	3800,0 m/s
WC	3979,2 m/s
JC	0,60
JF	1,00

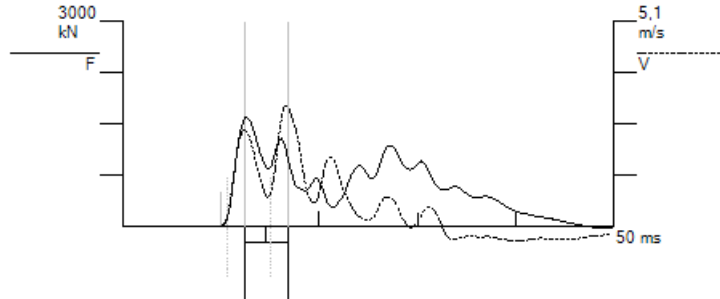
A1 (PE): [61084]	1050 g's/volt (1) VF4
F2: [S664]	141,5 PDICAL (1) FF4
F3: [S667]	142 PDICAL (1) FF4
A4 (PE): [61827]	1058 g's/volt (1) VF4



Pile Dynamics, Inc.

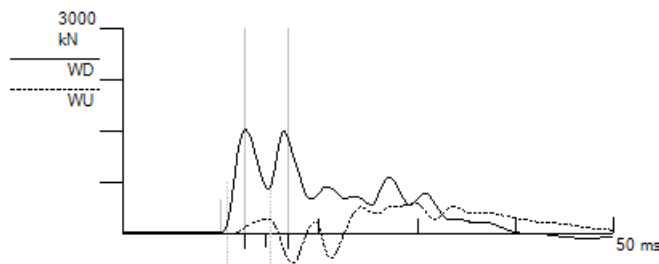
200310TRi Testfield
 P1 restrike 21d
 Juntan HHK 5A
 PDA Operator: TRi

Pile Driving Analyzer © (PDA)
 Version: 2018.30



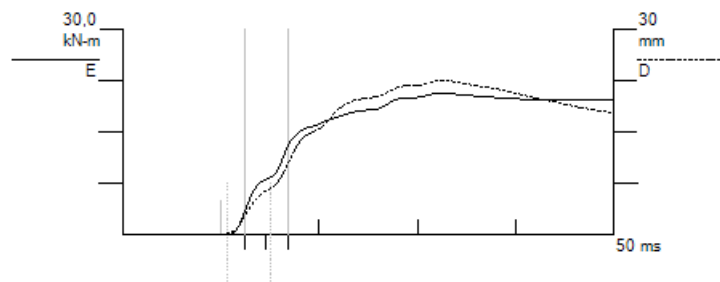
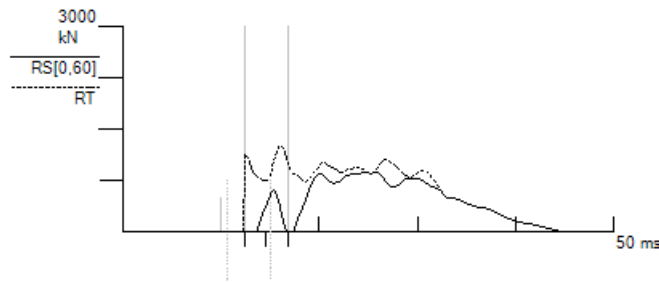
BN 1
 10maalisk2020 02.00.31 ip.

FMX	1604 kN
RMX	861 kN
EMX	20,7 kN-m
CSX	25,7 MPa
CSI	29,4 MPa
CSB	16,0 MPa
TSX	1,3 MPa
VMX	3,0 m/s
DMX	24 mm
FVP	1,1



LE	9,2 m
AR	625,00 cm ²
EM	36076 MPa
SP	24,5 kN/m ³
WS	3800,0 m/s
WC	4144,1 m/s
JC	0,60
JF	1,00

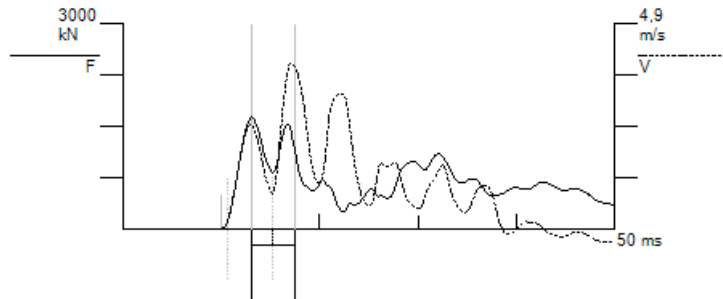
A1 (PE): [61084]	1050 g's/volt (1) VF4
F2: [S664]	141,5 PDICAL (1) FF4
F3: [S667]	142 PDICAL (1) FF4
A4 (PE): [61827]	1058 g's/volt (1) VF4



Pile Dynamics, Inc.

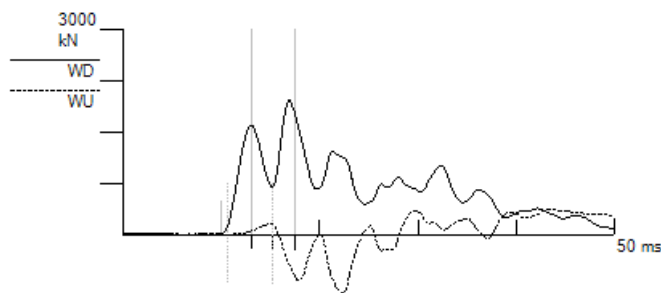
200218TRi Testfield
 P2 250 mm 1 day
 Juntan HHK 5A
 PDA Operator: TRi

Pile Driving Analyzer © (PDA)
 Version: 2018.30



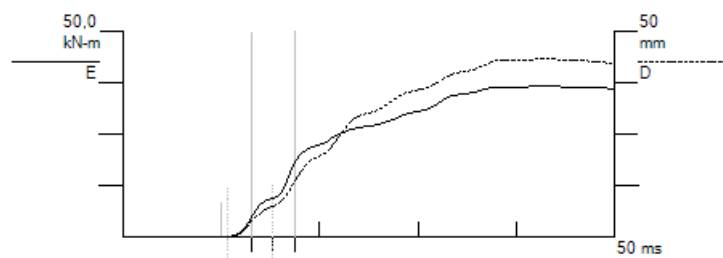
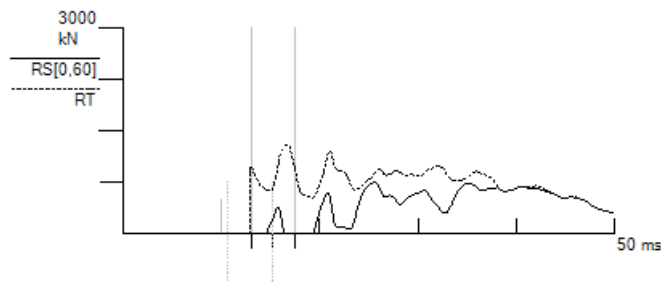
BN 2
 18helmi2020 08.37.14 ap.

FMX 1647 kN
 RMX 738 kN
 EMX 36,7 kN-m
 CSX 26,3 MPa
 CSI 30,2 MPa
 CSB 16,8 MPa
 TSX 0,8 MPa
 VMX 4,0 m/s
 DMX 43 mm
 FVP 1,1



LE 9,2 m
 AR 625,00 cm²
 EM 37999 MPa
 SP 24,5 kN/m³
 WS 3900,0 m/s
 WC 4067,2 m/s
 JC 0,60
 JF 1,00

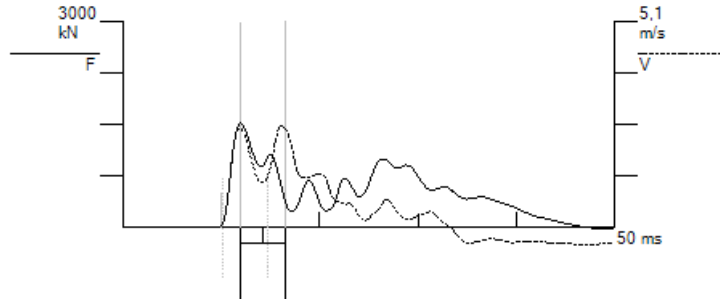
A1 (PE): [61084] 1050 g's/volt (1) VF4
 F2: [S664] 141,5 PDICAL (1) FF4
 F3: [S667] 142 PDICAL (1) FF4
 A4 (PE): [61827] 1058 g's/volt (1) VF4



Pile Dynamics, Inc.

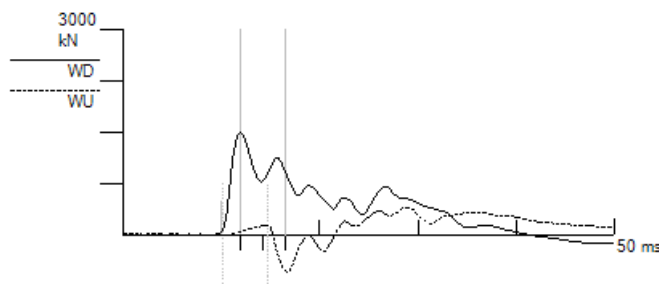
200310TRi Testfield
 P2 restrike 21d
 Juntan HHK 5A
 PDA Operator: TRi

Pile Driving Analyzer © (PDA)
 Version: 2018.30



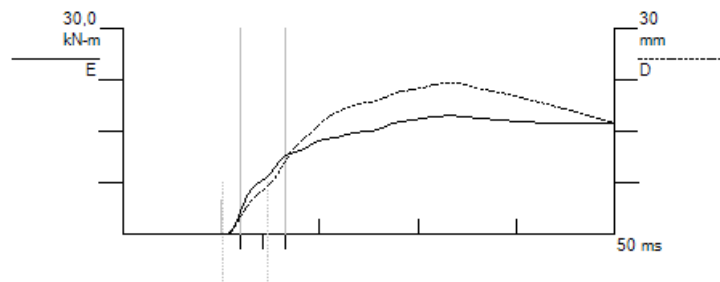
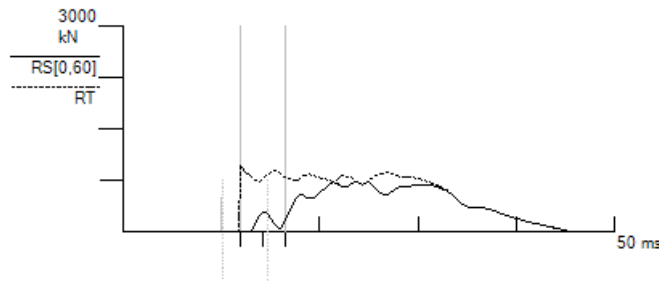
BN 1
 10maalisk2020 01.52.23 ip.

FMX	1523 kN
RMX	731 kN
EMX	17,3 kN-m
CSX	24,4 MPa
CSI	24,4 MPa
CSB	11,9 MPa
TSX	1,6 MPa
VMX	2,5 m/s
DMX	22 mm
FVP	1,1



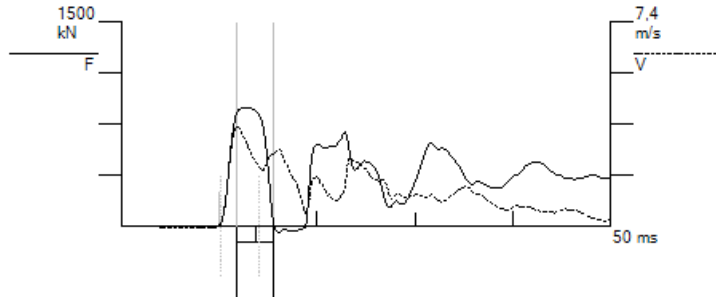
LE	9,2 m
AR	625,00 cm ²
EM	36076 MPa
SP	24,5 kN/m ³
WS	3800,0 m/s
WC	3979,2 m/s
JC	0,60
JF	1,00

A1 (PE): [61084]	1050 g's/volt (1) VF5
F2: [S664]	141,5 PDICAL (1) FF5
F3: [S667]	142 PDICAL (1) FF5
A4 (PE): [61827]	1058 g's/volt (1) VF5



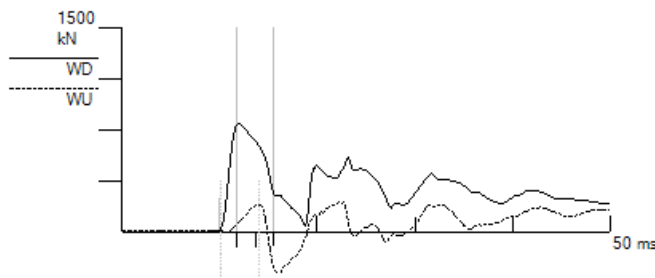
Pile Dynamics, Inc.
 200218TRi Testfield
 P3 170mm 1 day_1
 Juntan HHK 5A
 PDA Operator: TRi

Pile Driving Analyzer © (PDA)
 Version: 2018.30



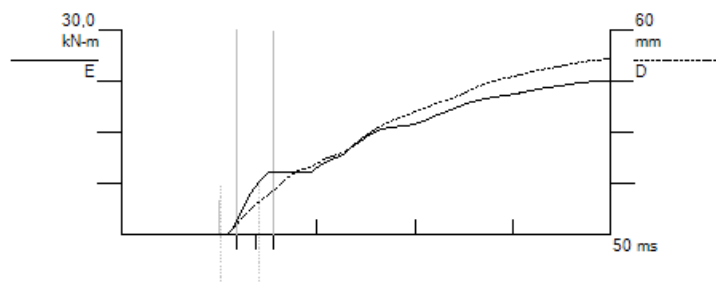
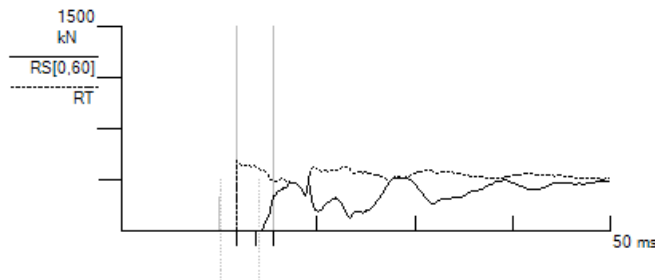
BN 5
 18helmi2020 09.21.18 ap.

FMX	875 kN
RMX	389 kN
EMX	22,9 kN-m
CSX	176,0 MPa
CSI	322,4 MPa
CSB	51,6 MPa
TSX	12,0 MPa
VMX	3,6 m/s
DMX	52 mm
FVP	1,1



LE	9,6 m
AR	49,73 cm ²
EM	210000 MPa
SP	78,5 kN/m ³
WS	5121,9 m/s
WC	5052,6 m/s
JC	0,60
JF	1,00

A1 (PE): [61084]	1050 g's/volt (1) VF4
F2: [S664]	141,5 PDICAL (1) FF4
F3: [S667]	142 PDICAL (1) FF4
A4 (PE): [61827]	1058 g's/volt (1) VF4



Pile Dynamics, Inc.

200310TRi Testfield

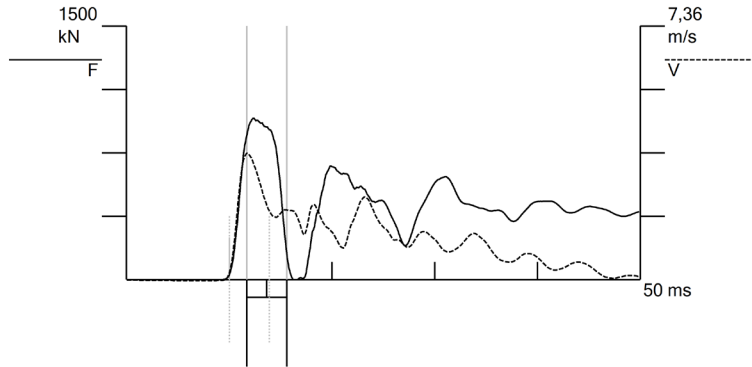
P3 restrike 21d

Juntan HHK 5A

PDA Operator: TRI

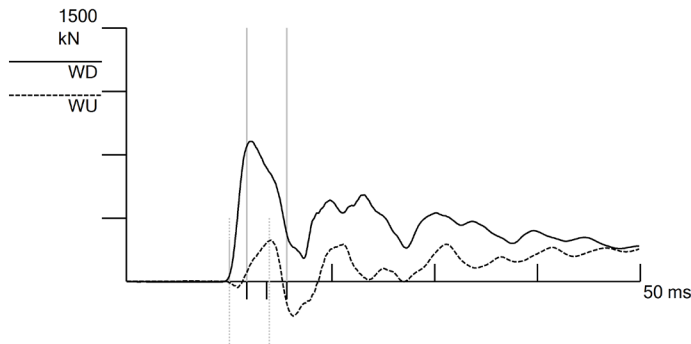
Pile Driving Analyzer® (PDA)

Version: 2018.30



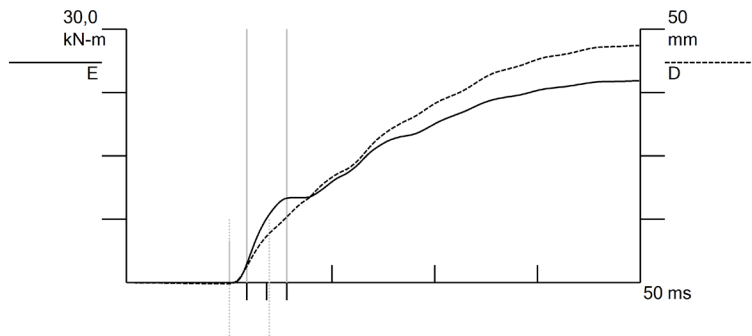
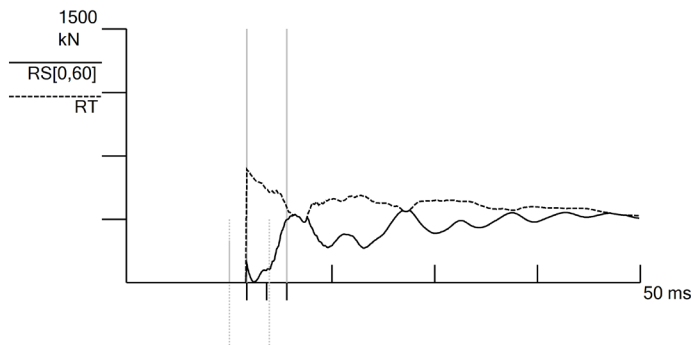
BN 1
10maalis2020 01.43.10 ip.

FMX	955 kN
RMX	427 kN
EMX	24,1 kN-m
CSX	192,0 MPa
CSI	316,0 MPa
CSB	67,3 MPa
TSX	4,2 MPa
VMX	3,67 m/s
DMX	53 mm
FVP	1,1
RX4	428 kN
RX5	427 kN
RX6	427 kN
RX7	427 kN



LE	9,6 m
AR	49,73 cm ²
EM	210000 MPa
SP	78,5 kN/m ³
WS	5121,9 m/s
WC	4930,5 m/s
JC	0,60
JF	1,00

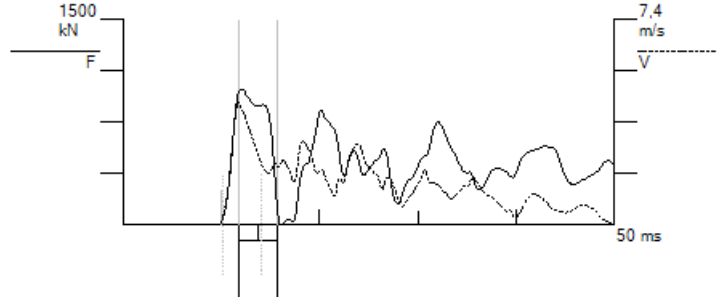
A1 (PE): [61084]	1050 g's/volt (1,05) VF6
F2: [S664]	141,5 PDICAL (0,95) FF6
F3: [S667]	142 PDICAL (0,95) FF6
A4 (PE): [61827]	1058 g's/volt (1,05) VF6



Pile Dynamics, Inc.

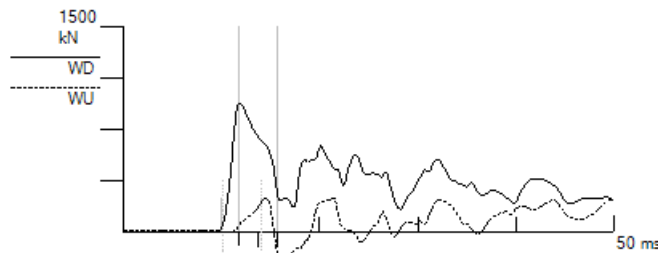
200218TRi Testfield
 P4 170mm 1 day
 Juntan HHK 5A
 PDA Operator: TRi

Pile Driving Analyzer ® (PDA)
 Version: 2018.30



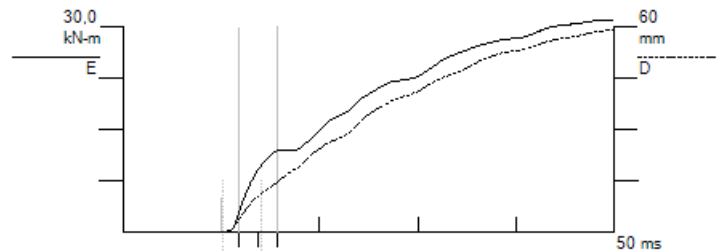
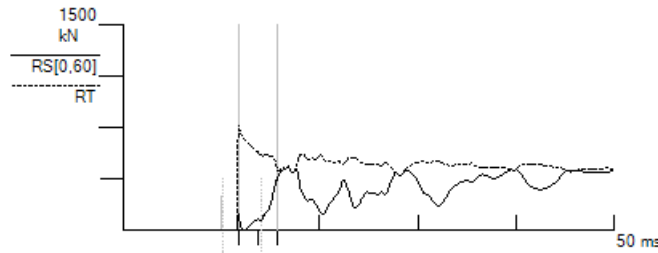
BN 2
 18helmi2020 09.13.55 ap.

FMX	994 kN
RMX	462 kN
EMX	31,5 kN-m
CSX	199,9 MPa
CSI	305,5 MPa
CSB	87,1 MPa
TSX	2,2 MPa
VMX	4,4 m/s
DMX	60 mm
FVP	1,1



LE	10,0 m
AR	49,73 cm ²
EM	210000 MPa
SP	78,5 kN/m ³
WS	5121,9 m/s
WC	5000,0 m/s
JC	0,60
JF	1,00

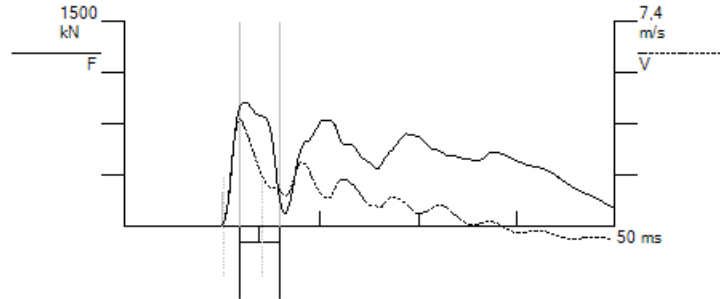
A1 (PE): [61084]	1050 g's/volt (1) VF4
F2: [S664]	141,5 PDICAL (1) FF4
F3: [S667]	142 PDICAL (1) FF4
A4 (PE): [61827]	1058 g's/volt (1) VF4



Pile Dynamics, Inc.

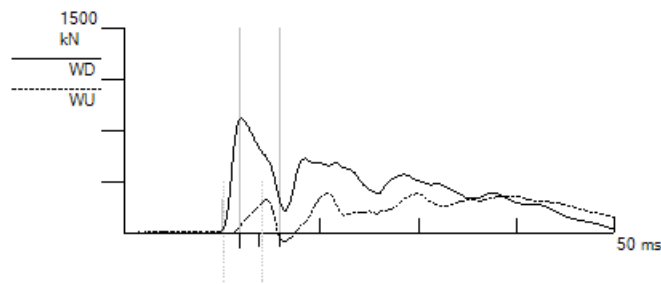
200310TRi Testfield
 P4 restrike 21d
 Juntan HHK 5A
 PDA Operator: TRi

Pile Driving Analyzer © (PDA)
 Version: 2018.30



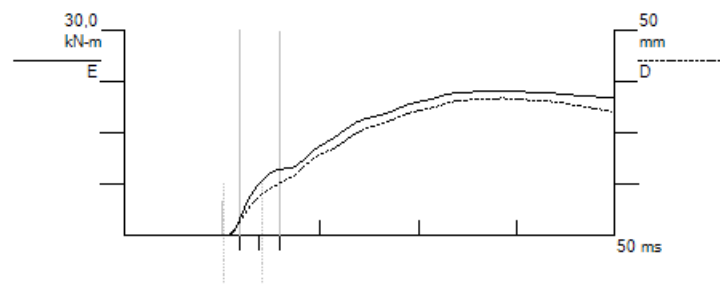
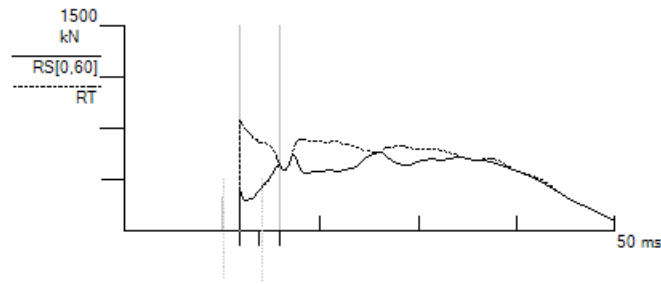
BN 1
 10maalis2020 01.36.15 ip.

FMX	907 kN
RMX	570 kN
EMX	21,2 kN-m
CSX	182,4 MPa
CSI	269,3 MPa
CSB	94,0 MPa
TSX	13,7 MPa
VMX	3,9 m/s
DMX	33 mm
FVP	1,1



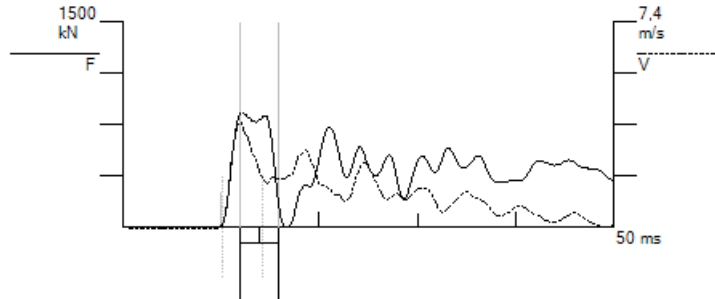
LE	10,0 m
AR	49,73 cm ²
EM	210000 MPa
SP	78,5 kN/m ³
WS	5121,9 m/s
WC	5000,0 m/s
JC	0,60
JF	1,00

A1 (PE): [61084]	1050 g's/volt (1) VF4
F2: [S664]	141,5 PDICAL (1) FF4
F3: [S667]	142 PDICAL (1) FF4
A4 (PE): [61827]	1058 g's/volt (1) VF4



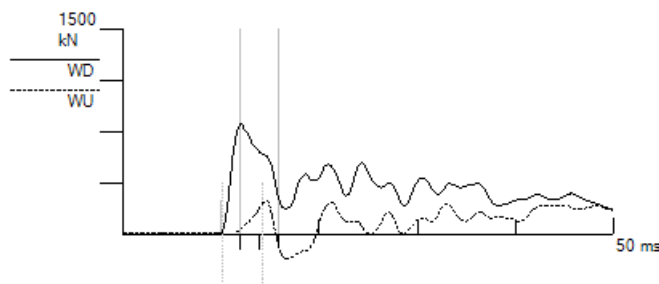
Pile Dynamics, Inc.
 200218TRi Testfield
 P5 170mm open 1 day
 Juntan HHK 5A
 PDA Operator: TRi

Pile Driving Analyzer © (PDA)
 Version: 2018.30



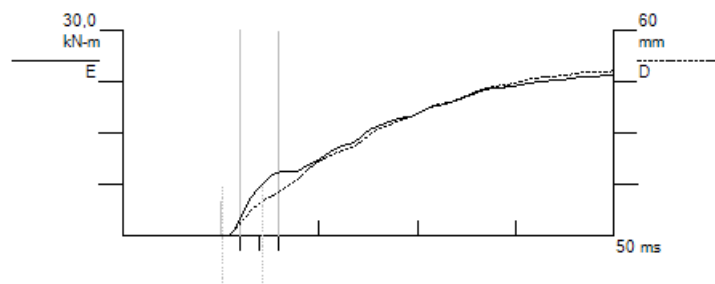
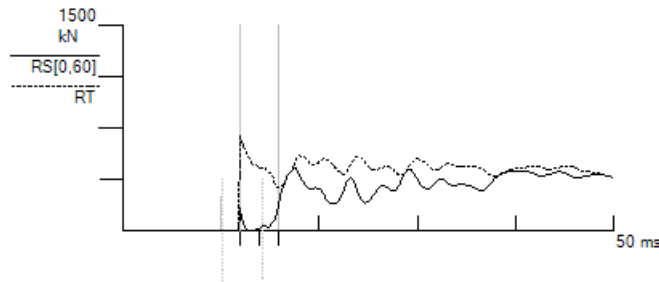
BN 2
 18helmi2020 09.07.09 ap.

FMX	843 kN
RMX	459 kN
EMX	23,4 kN-m
CSX	169,6 MPa
CSI	219,7 MPa
CSB	70,2 MPa
TSX	6,2 MPa
VMX	3,8 m/s
DMX	48 mm
FVP	1,1



LE	10,0 m
AR	49,73 cm ²
EM	210000 MPa
SP	78,5 kN/m ³
WS	5121,9 m/s
WC	5000,0 m/s
JC	0,60
JF	1,00

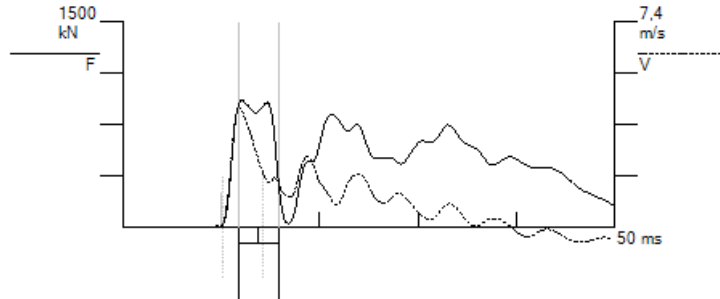
A1 (PE): [61084]	1050 g's/volt (1) VF5
F2: [S664]	141,5 PDICAL (1) FF5
F3: [S667]	142 PDICAL (1) FF5
A4 (PE): [61827]	1058 g's/volt (1) VF5



Pile Dynamics, Inc.

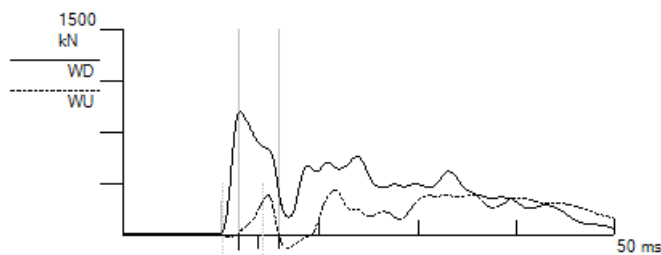
200310TRi Testfield
 P5 restrike 21d
 Juntan HHK 5A
 PDA Operator: TRi

Pile Driving Analyzer © (PDA)
 Version: 2018.30



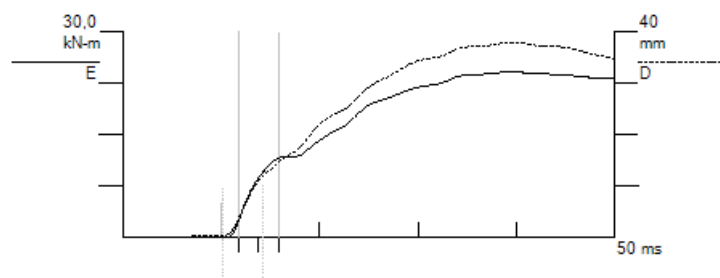
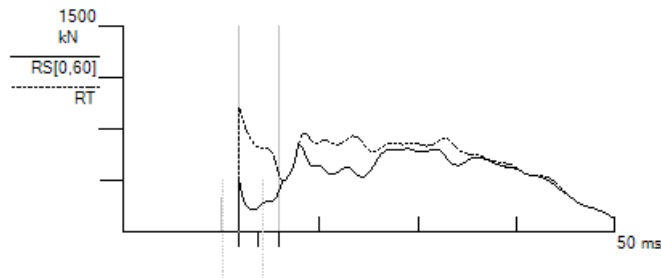
BN 2
 10maalisk2020 01.29.01 ip.

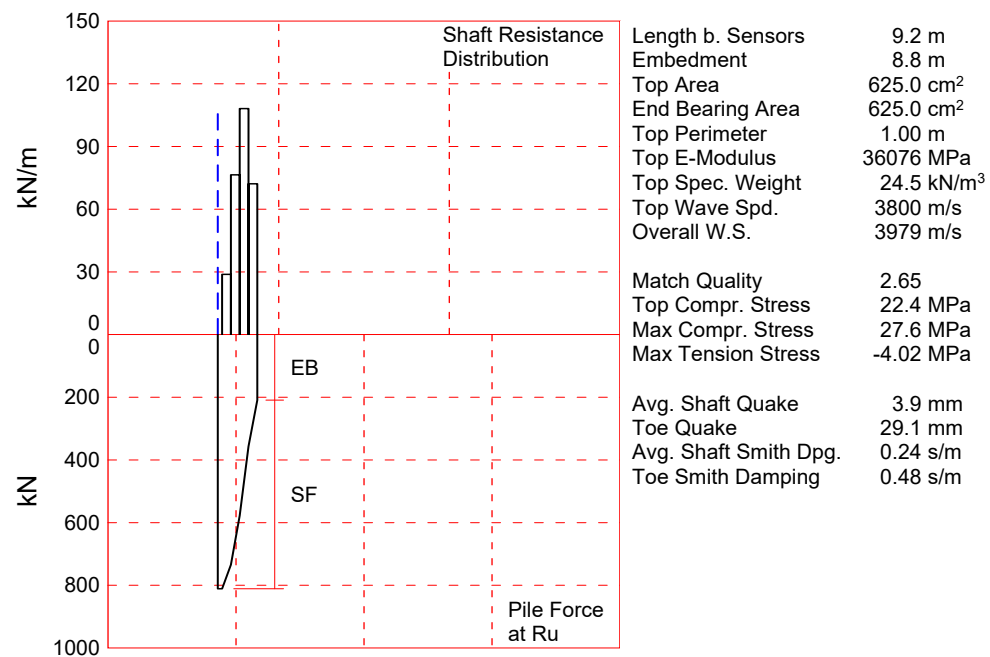
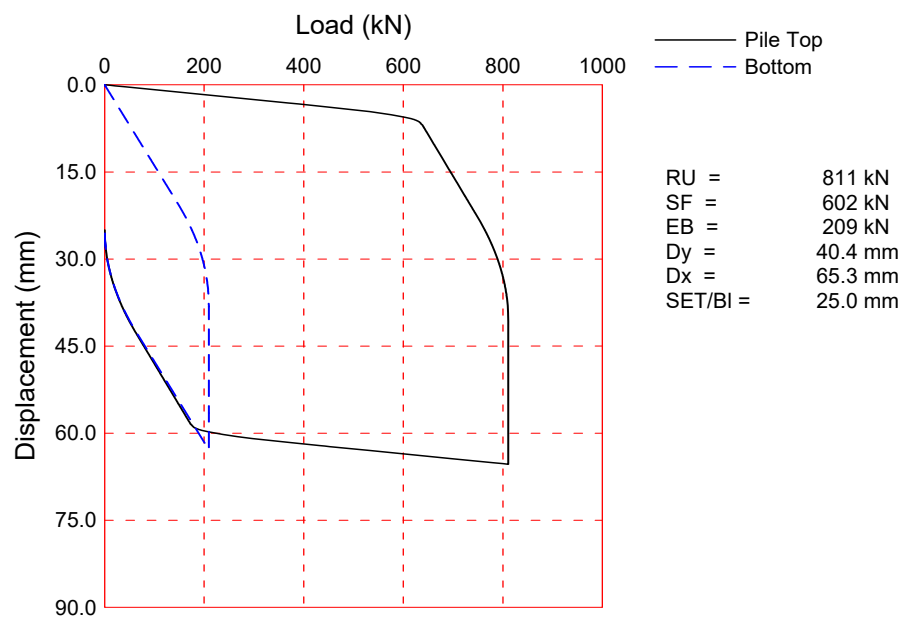
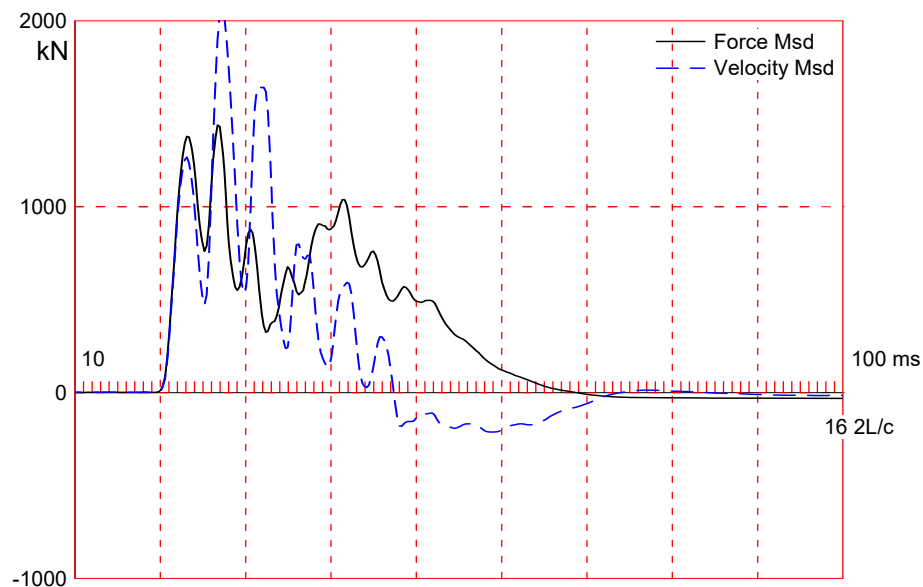
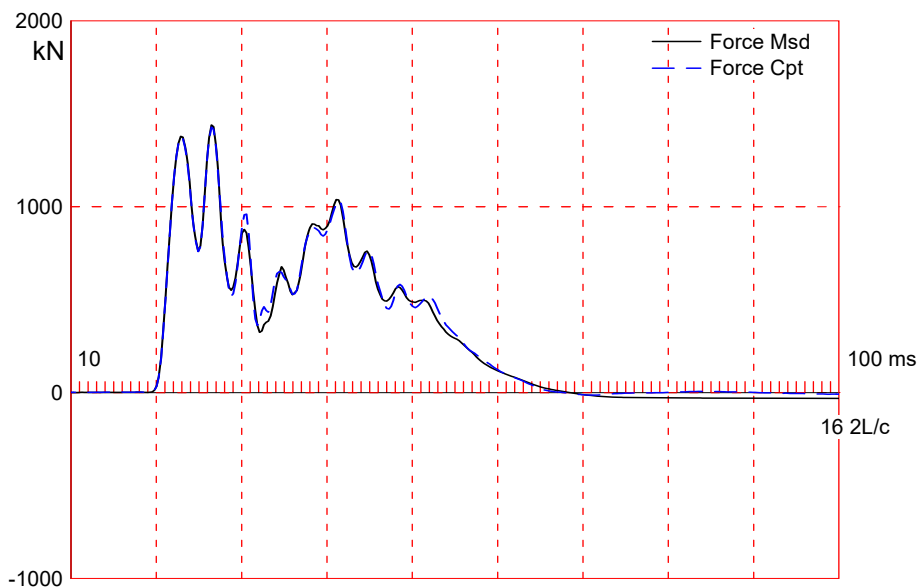
FMX	928 kN
RMX	633 kN
EMX	24,1 kN-m
CSX	186,6 MPa
CSI	302,7 MPa
CSB	99,8 MPa
TSX	17,5 MPa
VMX	4,3 m/s
DMX	38 mm
FVP	1,0



LE	10,0 m
AR	49,73 cm ²
EM	210000 MPa
SP	78,5 kN/m ³
WS	5121,9 m/s
WC	5000,0 m/s
JC	0,60
JF	1,00

A1 (PE): [61084]	1050 g's/volt (1) VF5
F2: [S664]	141,5 PDICAL (1) FF5
F3: [S667]	142 PDICAL (1) FF5
A4 (PE): [61827]	1058 g's/volt (1) VF5





200218Tri Testfield; Pile: P1 250 mm 1 day
 Juntan HHK 5A; Blow: 2
 JUNTTAN OY

Test: 18-Feb-2020 08:32
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: TRi

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 810.9; along Shaft 601.6; at Toe 209.3 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa
				810.9			
1	3.1	2.7	76.8	734.1	76.8	28.80	28.80
2	5.1	4.7	156.2	577.9	233.0	76.40	76.40
3	7.2	6.8	221.1	356.8	454.1	108.15	108.15
4	9.2	8.8	147.5	209.3	601.6	72.15	72.15
Avg. Shaft			150.4			68.36	68.36
Toe			209.3				3348.80

Soil Model Parameters/Extensions

	Shaft	Toe
Smith Damping Factor	0.24	0.48
Quake (mm)	3.9	29.1
Case Damping Factor	0.24	0.17
Damping Type	Viscous	Smith
Unloading Quake (% of loading quake)	105	156
Reloading Level (% of Ru)	100	100
Unloading Level (% of Ru)	82	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)		10.5
Soil Plug Weight (kN)	0.866	0.304
Soil Support Dashpot	1.179	10.000
Soil Support Weight (kN)	10.22	10.22

CAPWAP match quality = 2.65 (Wave Up Match) ; RSA = 0
 Observed: Final Set = 25.0 mm; Blow Count = 40 b/m
 Computed: Final Set = 23.0 mm; Blow Count = 44 b/m
 Transducer F2 (S664) CAL: 141.5; RF: 1.00; F3 (S667) CAL: 142.0; RF: 1.00
 A1 (61084) CAL: 1050; RF: 1.00; A4 (61827) CAL: 1058; RF: 1.00

max. Top Comp. Stress = 22.4 MPa (T= 23.4 ms, max= 1.235 x Top)
 max. Comp. Stress = 27.6 MPa (Z= 5.1 m, T= 28.5 ms)
 max. Tens. Stress = -4.02 MPa (Z= 6.1 m, T= 30.8 ms)
 max. Energy (EMX) = 28.5 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)= 33.2 mm

200218Tri Testfield; Pile: P1 250 mm 1 day
 Juntan HHK 5A; Blow: 2
 JUNTTAN OY

Test: 18-Feb-2020 08:32
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: Tri

EXTREMA TABLE

Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	1397.5	-20.5	22.4	-0.33	28.5	3.64	32.8
2	2.0	1422.0	-20.9	22.8	-0.34	28.4	3.66	32.5
3	3.1	1455.8	-23.9	23.3	-0.38	28.2	3.51	32.2
4	4.1	1540.2	-180.9	24.6	-2.89	24.8	3.23	31.9
5	5.1	1726.5	-172.4	27.6	-2.76	24.7	2.85	31.6
6	6.1	1540.0	-251.2	24.6	-4.02	18.5	2.86	31.4
7	7.2	1413.1	-16.0	22.6	-0.26	18.5	3.41	31.3
8	8.2	778.2	-113.8	12.5	-1.82	9.9	3.82	31.2
9	9.2	484.0	-0.2	7.7	-0.00	3.6	3.98	31.0
Absolute	5.1			27.6			(T =	28.5 ms)
	6.1				-4.02		(T =	30.8 ms)

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	887	710	533	356	179	2	0	0	0	0
RX	1215	1058	966	883	829	807	789	775	764	756
RU	887	710	533	356	179	2	0	0	0	0

RAU = 736 (kN); RA2 = 787 (kN)

Current CAPWAP Ru = 811 (kN); Corresponding J(RP)= 0.04; J(RX) = 0.48

VMX m/s	TVP ms	VT1*Z kN	FT1 kN	FMX kN	DMX mm	DFN mm	SET mm	EMX kJ	QUS kN	KEB kN/mm
3.52	23.12	1274	1383	1452	33.2	25.0	25.0	28.3	974	11

PILE PROFILE AND PILE MODEL

Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.0	625.0	36075.5	24.500	1.00
9.2	625.0	36075.5	24.500	1.00

Toe Area 625.0 cm²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Tension Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Compression Eff.	Perim. m	Wave Speed m/s	Soil Plug kN
1	1.0	593.3	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	1.00	3979.2	0.000
2	2.0	593.3	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	1.00	3979.2	0.108
9	9.2	593.3	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	1.00	3979.2	0.108

Wave Speed: Pile Top 3800.0, Elastic 3800.0, Overall 3979.2 m/s

Pile Damping 2.00 %, Time Incr 0.257 ms, 2L/c 4.6 ms

200218TRi Testfield; Pile: P1 250 mm 1 day

Test: 18-Feb-2020 08:32

Juntan HHK 5A; Blow: 2

CAPWAP(R) 2014-3


JUNTTAN OY

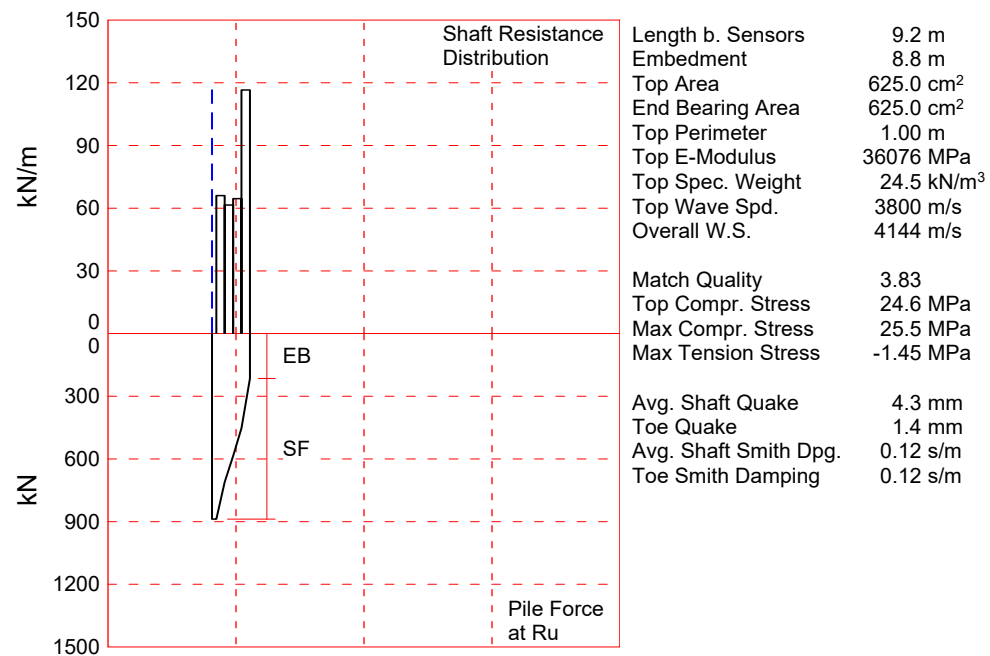
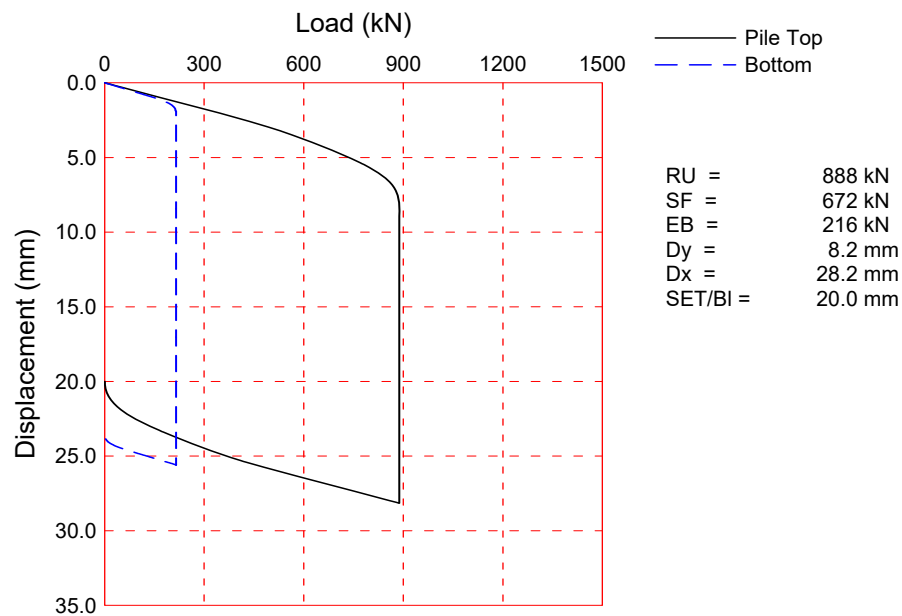
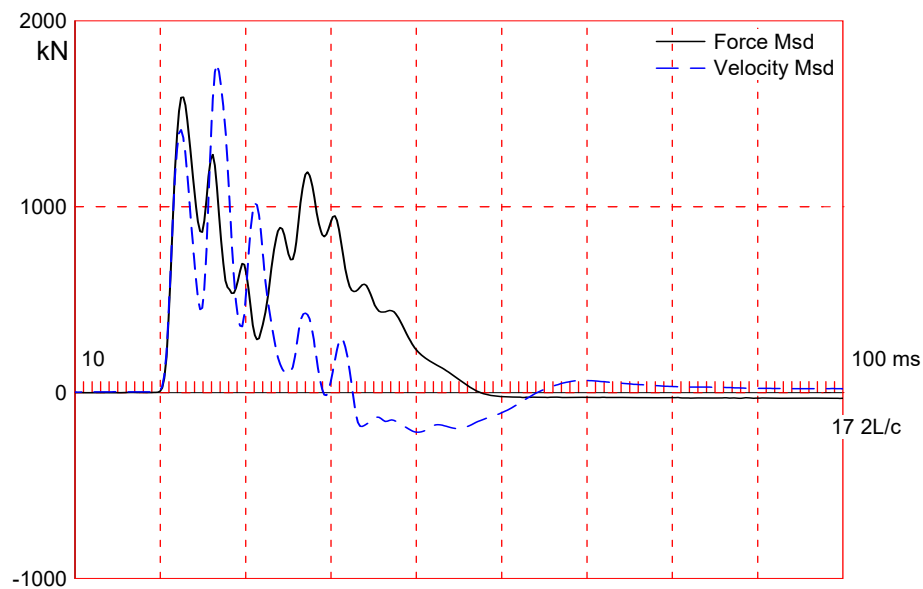
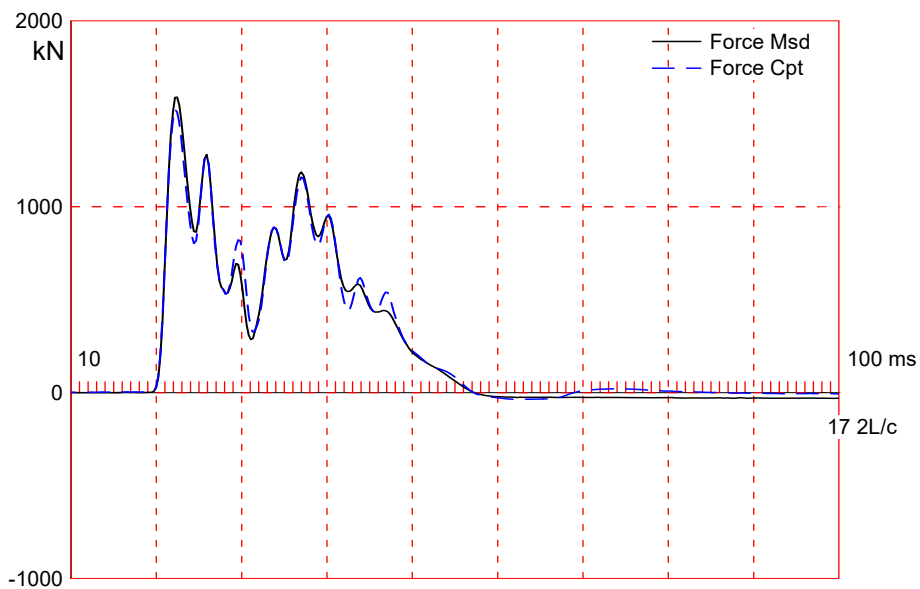
OP: TRi

Total volume: 0.575 m³; Volume ratio considering added impedance: 1.000

200310TRi Testfield; Pile: P1 restrike 21d; Juntan HHK 5A; Blow: 1 (Test: 10-Mar-2020 14:00:)

JUNTAN OY

26-Mar-2020
CAPWAP(R) 2014-3 



200310Tri Testfield; Pile: P1 restrrike 21d
 Juntan HHK 5A; Blow: 1
 JUNTTAN OY

Test: 10-Mar-2020 14:00
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: TRi

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 887.8; along Shaft 672.3; at Toe 215.5 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa
				887.8			
1	3.1	2.7	176.1	711.7	176.1	66.04	66.04
2	5.1	4.7	125.8	585.9	301.9	61.53	61.53
3	7.2	6.8	132.1	453.8	434.0	64.61	64.61
4	9.2	8.8	238.3	215.5	672.3	116.56	116.56
Avg. Shaft			168.1			76.40	76.40
Toe			215.5				3448.00

Soil Model Parameters/Extensions

	Shaft	Toe
Smith Damping Factor	0.12	0.12
Quake (mm)	4.3	1.4
Case Damping Factor	0.13	0.04
Damping Type	Viscous	Sm+Visc
Unloading Quake (% of loading quake)	116	30
Reloading Level (% of Ru)	100	100
Unloading Level (% of Ru)	50	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)		0.0
Soil Plug Weight (kN)	0.190	1.334
Soil Support Dashpot	1.254	3.000
Soil Support Weight (kN)	10.22	10.22

CAPWAP match quality = 3.83 (Wave Up Match) ; RSA = 0
 Observed: Final Set = 20.0 mm; Blow Count = 50 b/m
 Computed: Final Set = 19.3 mm; Blow Count = 52 b/m
 Transducer F2 (S664) CAL: 141.5; RF: 1.00; F3 (S667) CAL: 142.0; RF: 1.00
 A1 (61084) CAL: 1050; RF: 1.00; A4 (61827) CAL: 1058; RF: 1.00

max. Top Comp. Stress = 24.6 MPa (T= 22.7 ms, max= 1.037 x Top)
 max. Comp. Stress = 25.5 MPa (Z= 3.1 m, T= 23.4 ms)
 max. Tens. Stress = -1.45 MPa (Z= 6.1 m, T= 26.1 ms)
 max. Energy (EMX) = 20.9 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)= 22.6 mm

200310Tri Testfield; Pile: P1 restrike 21d
 Juntan HHK 5A; Blow: 1
 JUNTTAN OY

Test: 10-Mar-2020 14:00
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: Tri

EXTREMA TABLE

Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	1539.5	-43.0	24.6	-0.69	20.9	3.16	22.6
2	2.0	1562.4	-49.8	25.0	-0.80	20.8	3.21	22.4
3	3.1	1596.2	-56.9	25.5	-0.91	20.7	3.05	22.1
4	4.1	1477.8	-28.7	23.6	-0.46	16.6	2.77	21.8
5	5.1	1494.7	-30.0	23.9	-0.48	16.5	2.41	21.5
6	6.1	1370.2	-90.7	21.9	-1.45	13.8	2.54	21.4
7	7.2	1390.0	-28.7	22.2	-0.46	13.7	2.90	21.2
8	8.2	1104.6	-27.2	17.7	-0.44	11.0	3.21	21.1
9	9.2	845.2	-32.9	13.5	-0.53	5.7	3.40	21.0
Absolute	3.1			25.5			(T =	23.4 ms)
	6.1				-1.45		(T =	26.1 ms)

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	1133	946	758	570	382	194	7	0	0	0
RX	1252	1101	966	917	891	873	862	860	860	859
RU	1133	946	758	570	382	194	7	0	0	0

RAU = 859 (kN); RA2 = 806 (kN)

Current CAPWAP Ru = 888 (kN); Corresponding J(RP)= 0.13; J(RX) = 0.42

VMX m/s	TVP ms	VT1*Z kN	FT1 kN	FMX kN	DMX mm	DFN mm	SET mm	EMX kJ	QUS kN	KEB kN/mm
2.99	22.45	1422	1589	1604	22.6	20.0	20.0	20.7	972	153

PILE PROFILE AND PILE MODEL

Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.0	625.0	36075.5	24.500	1.00
9.2	625.0	36075.5	24.500	1.00

Toe Area 625.0 cm²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Tension Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Compression Eff.	Perim. m	Wave Speed m/s	Soil Plug kN
1	1.0	593.3	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	1.00	4144.1	0.000
2	2.0	593.3	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	1.00	4144.1	0.040
3	3.1	593.3	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	1.00	4144.1	0.021
9	9.2	593.3	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	1.00	4144.1	0.021

Wave Speed: Pile Top 3800.0, Elastic 3800.0, Overall 4144.1 m/s

200310TRi Testfield; Pile: P1 restrike 21d

Test: 10-Mar-2020 14:00

Juntan HHK 5A; Blow: 1

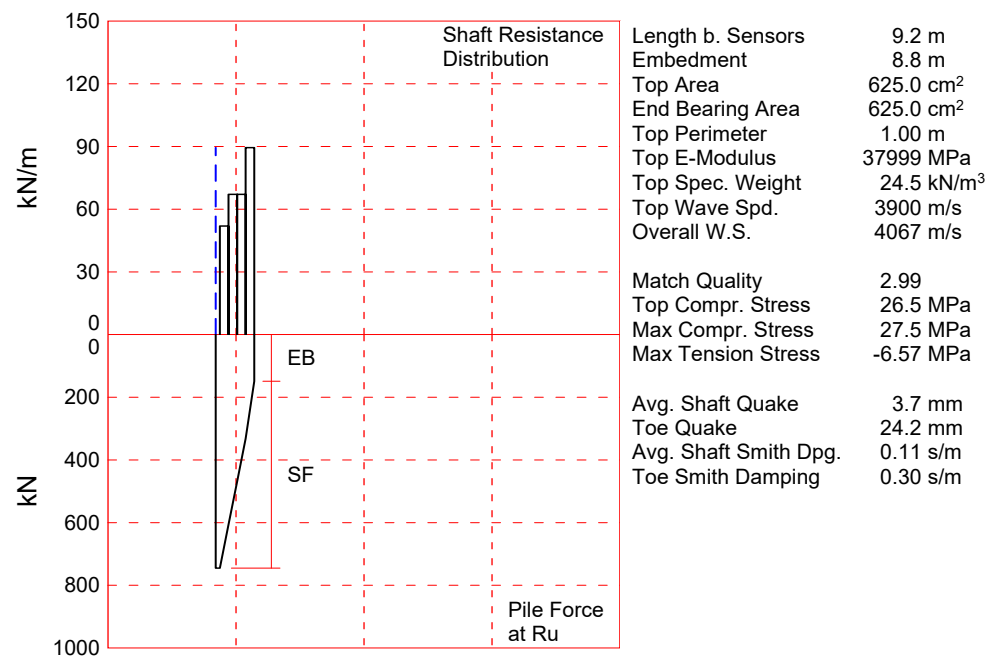
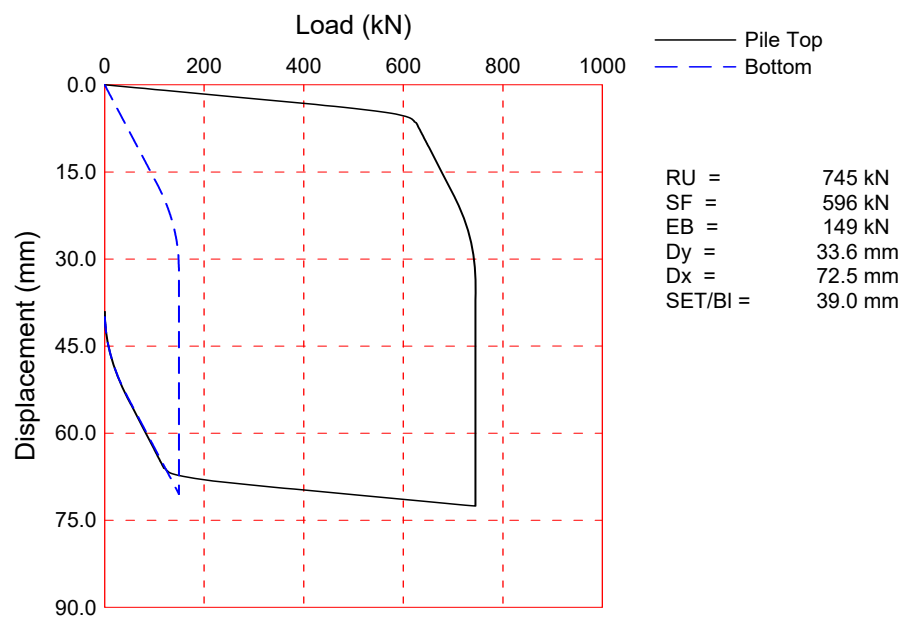
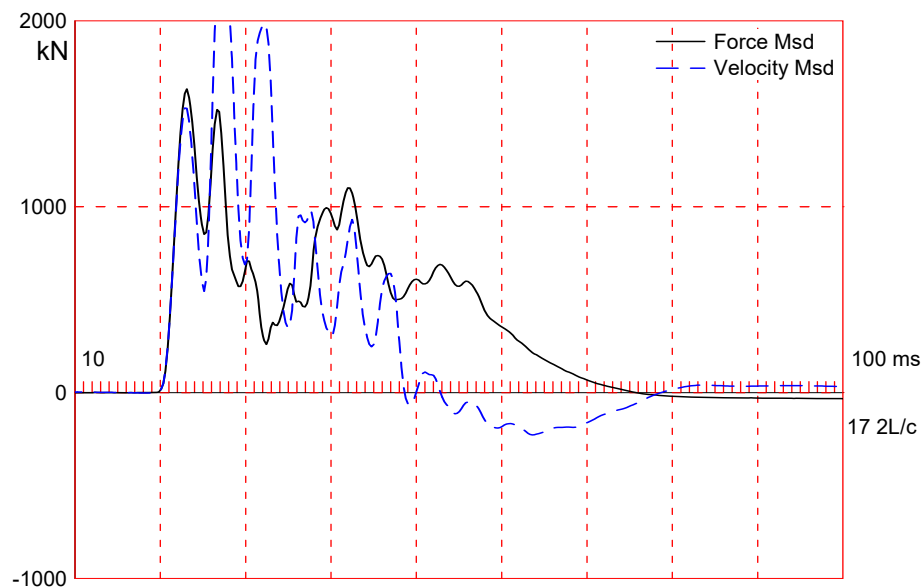
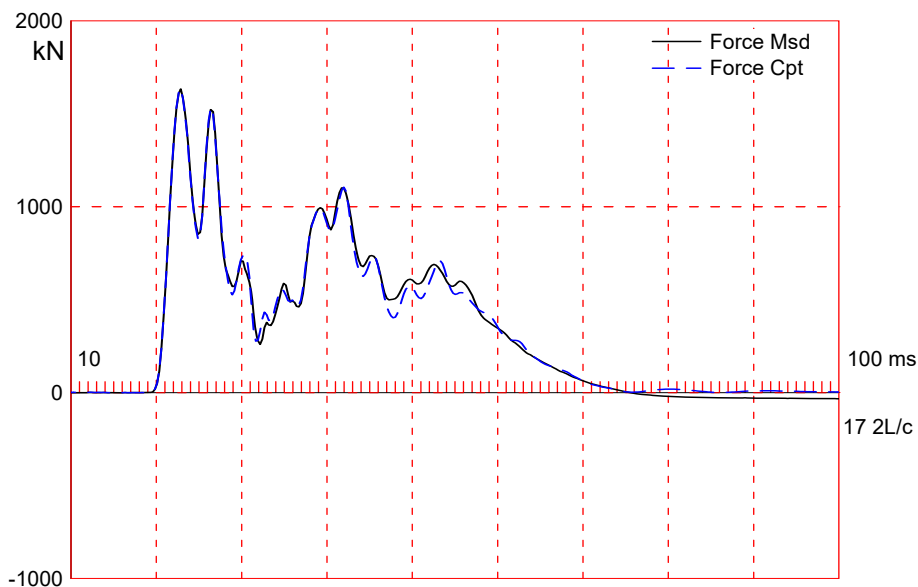
CAPWAP(R) 2014-3

JUNTTAN OY

OP: TRi

Pile Damping 2.00 %, Time Incr 0.247 ms, 2L/c 4.4 ms

Total volume: 0.575 m³; Volume ratio considering added impedance: 1.000



200218Tri Testfield; Pile: P2 250 mm 1 day
 Juntan HHK 5A; Blow: 2
 JUNTTAN OY

Test: 18-Feb-2020 08:37
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: TRi

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 744.9; along Shaft 595.6; at Toe 149.3 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa
				744.9			
1	3.1	2.7	138.4	606.5	138.4	51.90	51.90
2	5.1	4.7	137.2	469.3	275.6	67.11	67.11
3	7.2	6.8	137.2	332.1	412.8	67.11	67.11
4	9.2	8.8	182.8	149.3	595.6	89.41	89.41
Avg. Shaft			148.9			67.68	67.68
Toe			149.3				2388.80

Soil Model Parameters/Extensions

	Shaft	Toe
Smith Damping Factor	0.11	0.30
Quake (mm)	3.7	24.2
Case Damping Factor	0.11	0.07
Damping Type	Viscous	Viscous
Unloading Quake (% of loading quake)	151	49
Reloading Level (% of Ru)	100	100
Unloading Level (% of Ru)	1	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)		22.6
Soil Plug Weight (kN)	0.571	0.667
Soil Support Dashpot	1.456	10.000
Soil Support Weight (kN)	10.22	10.22

CAPWAP match quality = 2.99 (Wave Up Match) ; RSA = 0
 Observed: Final Set = 39.0 mm; Blow Count = 26 b/m
 Computed: Final Set = 38.4 mm; Blow Count = 26 b/m
 Transducer F2 (S664) CAL: 141.5; RF: 1.00; F3 (S667) CAL: 142.0; RF: 1.00
 A1 (61084) CAL: 1050; RF: 1.00; A4 (61827) CAL: 1058; RF: 1.00

max. Top Comp. Stress = 26.5 MPa (T= 23.4 ms, max= 1.038 x Top)
 max. Comp. Stress = 27.5 MPa (Z= 3.1 m, T= 23.9 ms)
 max. Tens. Stress = -6.57 MPa (Z= 6.1 m, T= 30.9 ms)
 max. Energy (EMX) = 37.0 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)= 43.3 mm

200218Tri Testfield; Pile: P2 250 mm 1 day
 Juntan HHK 5A; Blow: 2
 JUNTTAN OY

Test: 18-Feb-2020 08:37
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: Tri

EXTREMA TABLE

Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	1655.1	-1.2	26.5	-0.02	37.0	4.17	43.7
2	2.0	1679.4	-4.2	26.9	-0.07	36.8	4.24	43.4
3	3.1	1718.5	-161.2	27.5	-2.58	36.7	4.08	43.1
4	4.1	1573.6	-408.8	25.2	-6.54	29.8	3.76	42.9
5	5.1	1717.8	-374.0	27.5	-5.98	29.7	3.36	42.7
6	6.1	1612.9	-410.9	25.8	-6.57	23.1	3.36	42.6
7	7.2	1531.1	-191.7	24.5	-3.07	23.1	3.85	42.5
8	8.2	1062.7	-112.0	17.0	-1.79	16.4	4.29	42.4
9	9.2	634.7	-9.2	10.2	-0.15	7.1	4.56	42.3
Absolute	3.1			27.5			(T =	23.9 ms)
	6.1				-6.57		(T =	30.9 ms)

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	978	758	537	316	96	0	0	0	0	0
RX	1294	1091	981	878	792	764	738	716	698	681
RU	978	758	537	316	96	0	0	0	0	0

RAU = 669 (kN); RA2 = 742 (kN)

Current CAPWAP Ru = 745 (kN); Corresponding J(RP)= 0.11; J(RX) = 0.57

VMX m/s	TVP ms	VT1*Z kN	FT1 kN	FMX kN	DMX mm	DFN mm	SET mm	EMX kJ	QUS kN	KEB kN/mm
3.98	22.87	1547	1637	1647	43.3	39.0	39.0	36.6	891	94

PILE PROFILE AND PILE MODEL

Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.0	625.0	37999.2	24.500	1.00
9.2	625.0	37999.2	24.500	1.00

Toe Area 625.0 cm²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Tension Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Compression Eff.	Perim. m	Wave Speed m/s	Soil Plug kN
1	1.0	609.0	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	1.00	4067.2	0.000
2	2.0	609.0	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	1.00	4067.2	0.112
3	3.1	609.0	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	1.00	4067.2	0.066
9	9.2	609.0	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	1.00	4067.2	0.066

Wave Speed: Pile Top 3900.0, Elastic 3900.0, Overall 4067.2 m/s

200218TRi Testfield; Pile: P2 250 mm 1 day

Test: 18-Feb-2020 08:37

Juntan HHK 5A; Blow: 2

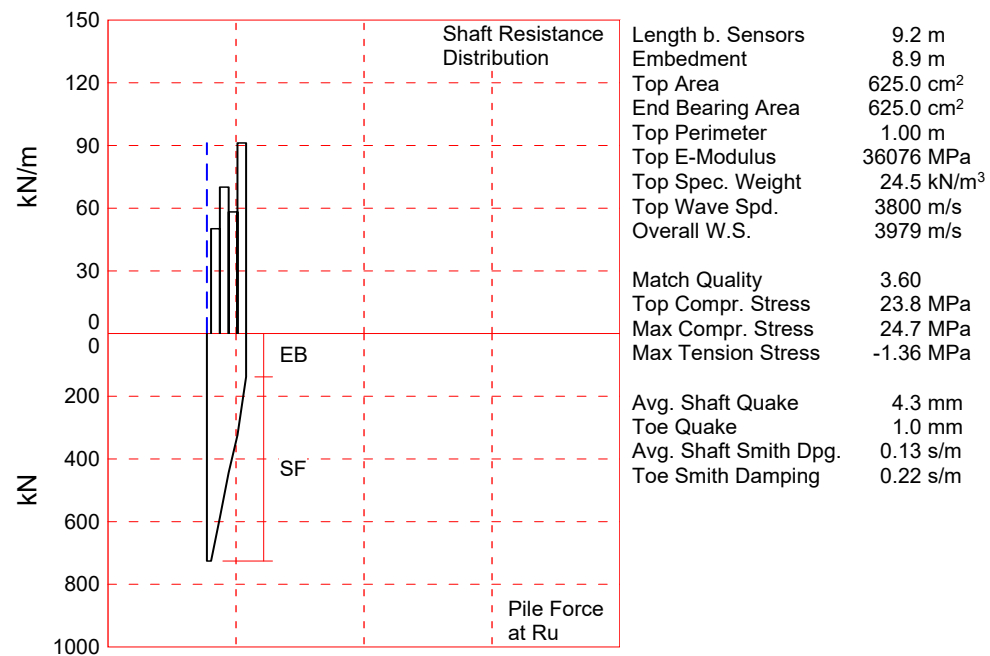
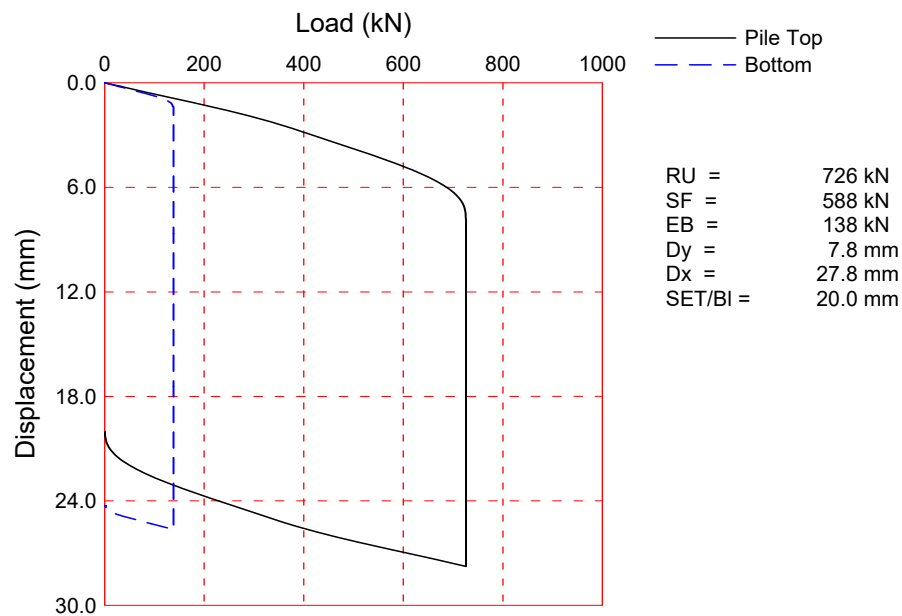
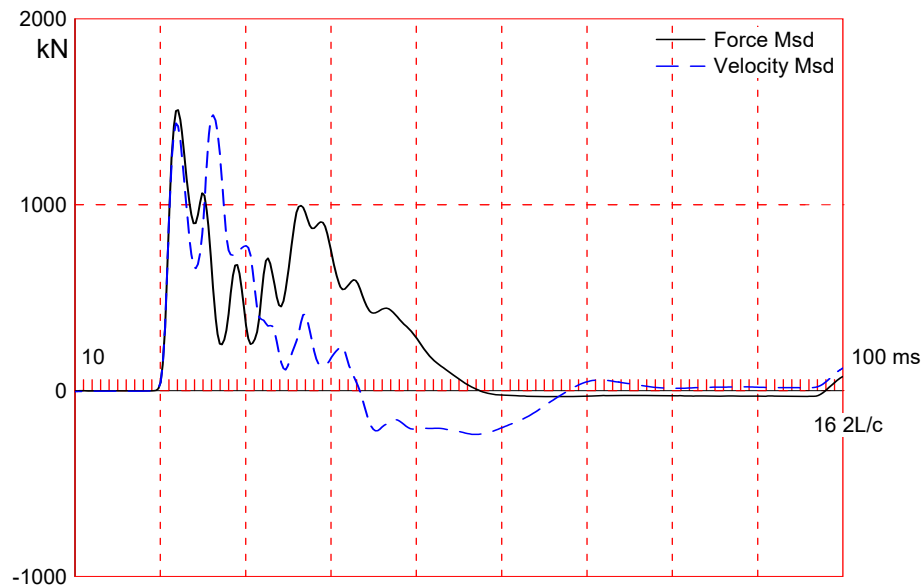
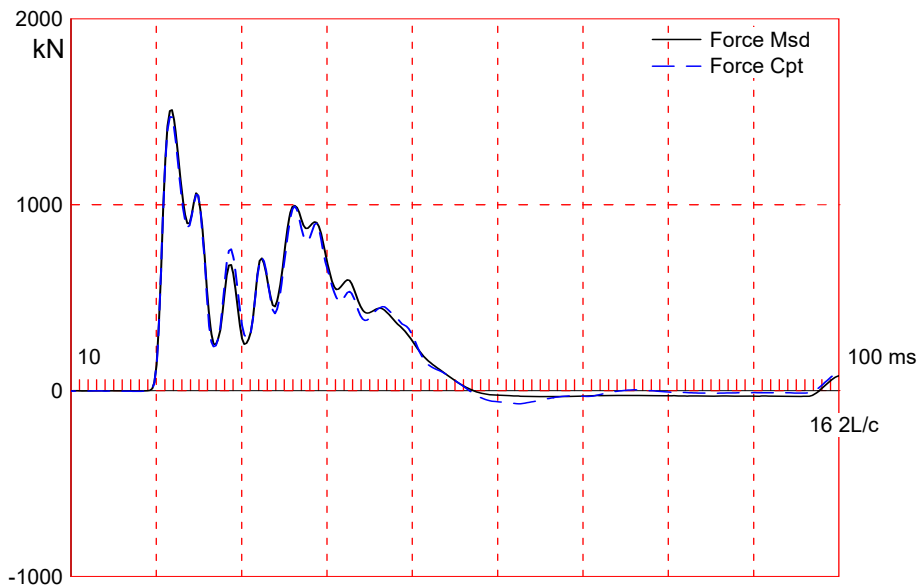
CAPWAP(R) 2014-3

JUNTTAN OY

OP: TRi

Pile Damping 2.00 %, Time Incr 0.251 ms, 2L/c 4.5 ms

Total volume: 0.575 m³; Volume ratio considering added impedance: 1.000



200310Tri Testfield; Pile: P2 restrike 21d
 Juntan HHK 5A; Blow: 1
 JUNTTAN OY

Test: 10-Mar-2020 13:52
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: TRi

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 726.0; along Shaft 587.7; at Toe 138.3 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa
				726.0			
1	3.1	2.8	138.9	587.1	138.9	50.20	50.20
2	5.1	4.8	143.3	443.8	282.2	70.09	70.09
3	7.2	6.9	119.1	324.7	401.3	58.26	58.26
4	9.2	8.9	186.4	138.3	587.7	91.17	91.17
Avg. Shaft			146.9			66.03	66.03
Toe			138.3				2212.80

Soil Model Parameters/Extensions

	Shaft	Toe
Smith Damping Factor	0.13	0.22
Quake (mm)	4.3	1.0
Case Damping Factor	0.12	0.05
Damping Type	Viscous	Smith
Unloading Quake (% of loading quake)	105	30
Reloading Level (% of Ru)	100	100
Unloading Level (% of Ru)	16	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)		0.0
Soil Plug Weight (kN)		0.461
Soil Support Dashpot	1.362	3.000
Soil Support Weight (kN)	10.22	10.22

CAPWAP match quality = 3.60 (Wave Up Match) ; RSA = 0
 Observed: Final Set = 20.0 mm; Blow Count = 50 b/m
 Computed: Final Set = 18.2 mm; Blow Count = 55 b/m
 Transducer F2 (S664) CAL: 141.5; RF: 1.00; F3 (S667) CAL: 142.0; RF: 1.00
 A1 (61084) CAL: 1050; RF: 1.00; A4 (61827) CAL: 1058; RF: 1.00
 max. Top Comp. Stress = 23.8 MPa (T= 22.3 ms, max= 1.037 x Top)
 max. Comp. Stress = 24.7 MPa (Z= 3.1 m, T= 22.9 ms)
 max. Tens. Stress = -1.36 MPa (Z= 3.1 m, T= 62.2 ms)
 max. Energy (EMX) = 17.6 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)= 22.2 mm

200310Tri Testfield; Pile: P2 restrike 21d
 Juntan HHK 5A; Blow: 1
 JUNTTAN OY

Test: 10-Mar-2020 13:52
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: TRI

EXTREMA TABLE

Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	1485.9	-75.6	23.8	-1.21	17.6	2.81	22.6
2	2.0	1509.1	-80.4	24.1	-1.29	17.5	2.87	22.4
3	3.1	1541.6	-84.8	24.7	-1.36	17.5	2.72	22.2
4	4.1	1451.3	-63.5	23.2	-1.02	14.2	2.48	22.0
5	5.1	1469.6	-67.6	23.5	-1.08	14.2	2.34	21.8
6	6.1	1328.0	-84.5	21.2	-1.35	10.9	2.75	21.6
7	7.2	1169.8	-49.3	18.7	-0.79	10.9	3.17	21.5
8	8.2	783.0	-31.8	12.5	-0.51	8.3	3.52	21.3
9	9.2	480.2	-34.3	7.7	-0.55	4.2	3.67	21.2
Absolute	3.1			24.7			(T =	22.9 ms)
	3.1				-1.36		(T =	62.2 ms)

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	949	747	545	343	141	0	0	0	0	0
RX	949	799	756	736	728	727	726	726	725	724
RU	949	747	545	343	141	0	0	0	0	0

RAU = 719 (kN); RA2 = 772 (kN)

Current CAPWAP Ru = 726 (kN); Corresponding J(RP) = 0.11; J(RX) = 0.64

VMX m/s	TVP ms	VT1*Z kN	FT1 kN	FMX kN	DMX mm	DFN mm	SET mm	EMX kJ	QUS kN	KEB kN/mm
2.51	21.84	1448	1523	1523	22.2	20.0	20.0	17.4	823	138

PILE PROFILE AND PILE MODEL

Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.0	625.0	36075.5	24.500	1.00
9.2	625.0	36075.5	24.500	1.00

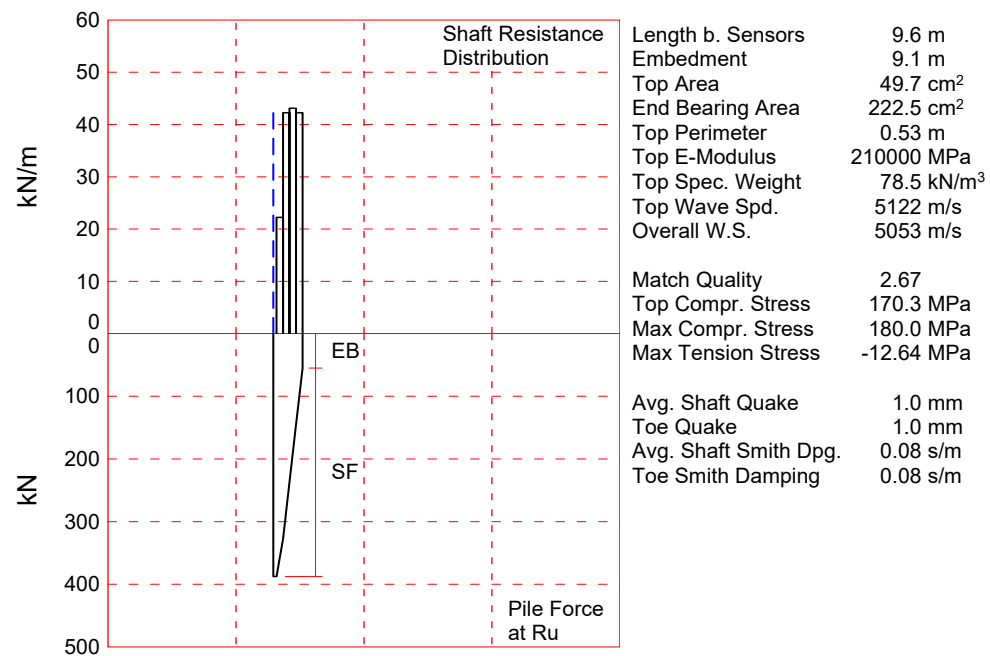
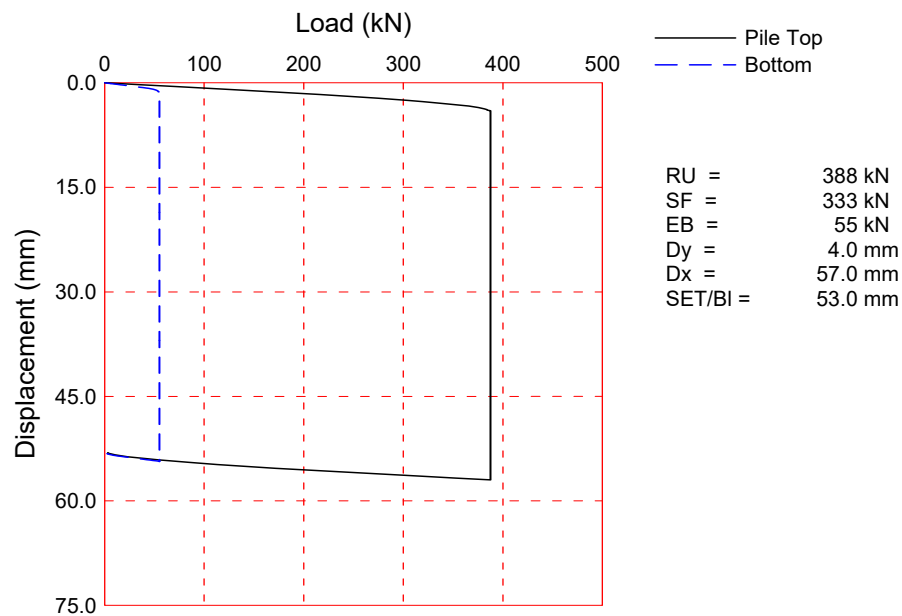
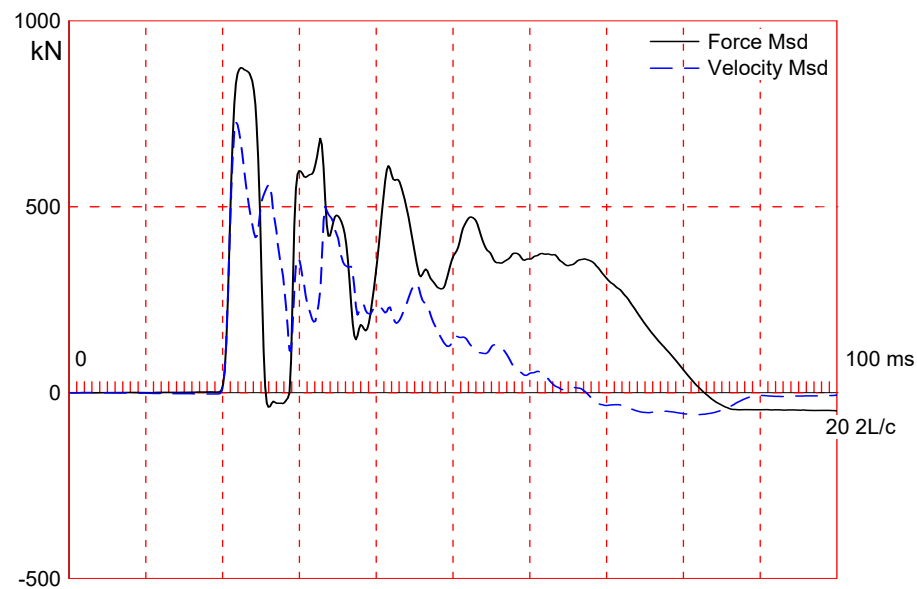
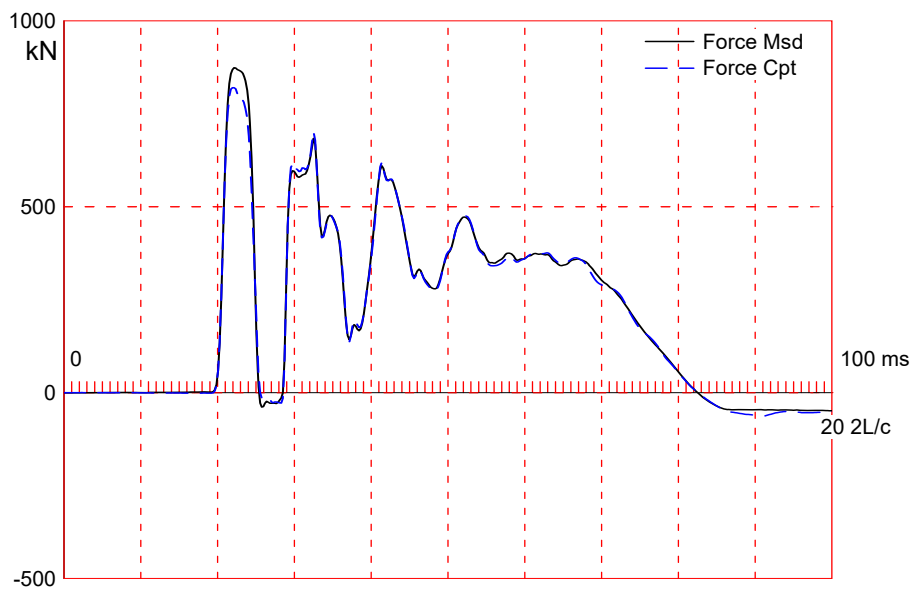
Toe Area 625.0 cm²

Top Segment Length 1.02 m, Top Impedance 593 kN/m/s

Wave Speed: Pile Top 3800.0, Elastic 3800.0, Overall 3979.2 m/s

Pile Damping 2.00 %, Time Incr 0.257 ms, 2L/c 4.6 ms

Total volume: 0.575 m³; Volume ratio considering added impedance: 1.000



200218Tri Testfield; Pile: P3 170mm 1 day_1
 Juntan HHK 5A; Blow: 5
 JUNTTAN OY

Test: 18-Feb-2020 09:21
 CAPWAP(R) 2014-3
 OP: Tri

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 387.6; along Shaft 332.5; at Toe 55.1 kN							
Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages	Depth Below Grade	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa
				387.6			
1	3.2	2.7	60.1	327.5	60.1	22.26	42.10
2	5.3	4.8	90.2	237.3	150.3	42.28	79.97
3	7.5	7.0	92.0	145.3	242.3	43.13	81.56
4	9.6	9.1	90.2	55.1	332.5	42.28	79.97
Avg. Shaft			83.1			36.54	69.11
Toe			55.1				2476.81

Soil Model Parameters/Extensions		Shaft	Toe
Smith Damping Factor		0.08	0.08
Quake	(mm)	1.0	1.0
Case Damping Factor		0.13	0.02
Damping Type		Viscous	Viscous
Unloading Quake	(% of loading quake)	260	30
Reloading Level	(% of Ru)	100	100
Unloading Level	(% of Ru)	79	
Soil Plug Weight	(kN)	0.231	
Soil Support Dashpot		3.253	10.000
Soil Support Weight	(kN)	5.64	5.64

CAPWAP match quality = 2.67 (Wave Up Match) ; RSA = 0
 Observed: Final Set = 53.0 mm; Blow Count = 19 b/m
 Computed: Final Set = 51.2 mm; Blow Count = 20 b/m
 Transducer F2 (S664) CAL: 141.5; RF: 1.00; F3 (S667) CAL: 142.0; RF: 1.00
 A1 (61084) CAL: 1050; RF: 1.00; A4 (61827) CAL: 1058; RF: 1.00
 max. Top Comp. Stress = 170.3 MPa (T= 22.4 ms, max= 1.057 x Top)
 max. Comp. Stress = 180.0 MPa (Z= 3.2 m, T= 22.8 ms)
 max. Tens. Stress = -12.64 MPa (Z= 3.2 m, T= 88.5 ms)
 max. Energy (EMX) = 23.2 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)= 53.0 mm

200218Tri Testfield; File: P3 170mm 1 day_1
 Juntan HHK 5A; Blow: 5
 JUNTTAN OY

Test: 18-Feb-2020 09:21
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: Tri

EXTREMA TABLE

File Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.1	847.0	-62.5	170.3	-12.56	23.2	3.65	53.4
2	2.1	862.7	-62.4	173.5	-12.54	23.1	3.69	53.0
3	3.2	895.0	-62.8	180.0	-12.64	23.1	4.05	52.7
4	4.3	833.6	-42.0	167.6	-8.45	19.6	4.32	52.4
5	5.3	831.4	-44.6	167.2	-8.97	19.6	4.53	52.1
6	6.4	679.6	-24.5	136.6	-4.92	14.2	4.71	51.9
7	7.5	571.8	-23.4	115.0	-4.70	14.2	4.91	51.7
8	8.5	333.9	-9.4	67.1	-1.88	8.8	5.09	51.6
9	9.6	209.1	-10.3	42.1	-2.07	3.5	5.16	51.5
Absolute	3.2			180.0			(T = 22.8 ms)	
	3.2				-12.64		(T = 88.5 ms)	

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	513	407	302	196	90	0	0	0	0	0
RX	513	417	396	390	389	388	388	387	387	387
RU	513	407	302	196	90	0	0	0	0	0

RAU = 346 (kN); RA2 = 263 (kN)

Current CAPWAP Ru = 388 (kN); Corresponding J(RP)= 0.12; J(RX) = 0.66

VMX m/s	TVP ms	VT1*Z kN	FT1 kN	FMX kN	DMX mm	DFN mm	SET mm	EMX kJ	QUS kN	KEB kN/mm
3.59	21.74	732	838	875	53.0	53.0	53.0	23.0	435	55

PILE PROFILE AND PILE MODEL

Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.0	49.7	210000.0	78.500	0.53
9.6	49.7	210000.0	78.500	0.53

Toe Area 222.5 cm²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Tension Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Compression Eff.	Perim. m	Wave Speed m/s	Soil Plug kN
1	1.1	203.9	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	0.53	5052.6	0.000
2	2.1	203.9	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	0.53	5052.6	0.030
3	3.2	203.9	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	0.53	5052.6	0.029
9	9.6	203.9	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	0.53	5052.6	0.029

Wave Speed: Pile Top 5121.9, Elastic 5121.9, Overall 5052.6 m/s

200218TRi Testfield; Pile: P3 170mm 1 day_1

Test: 18-Feb-2020 09:21

Juntan HHK 5A; Blow: 5

CAPWAP(R) 2014-3

JUNTTAN OY


OP: TRi

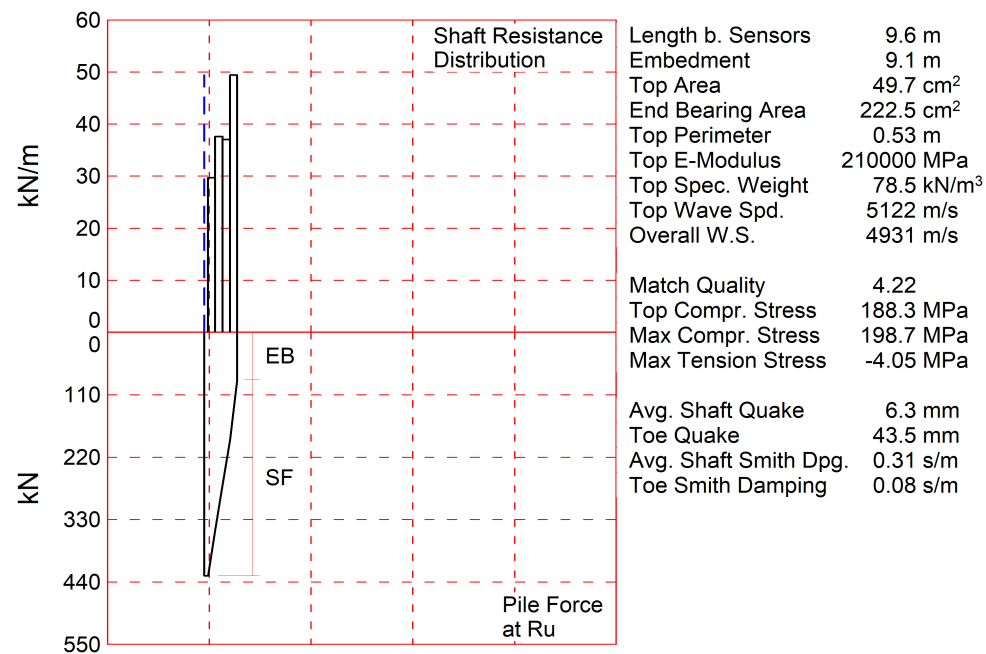
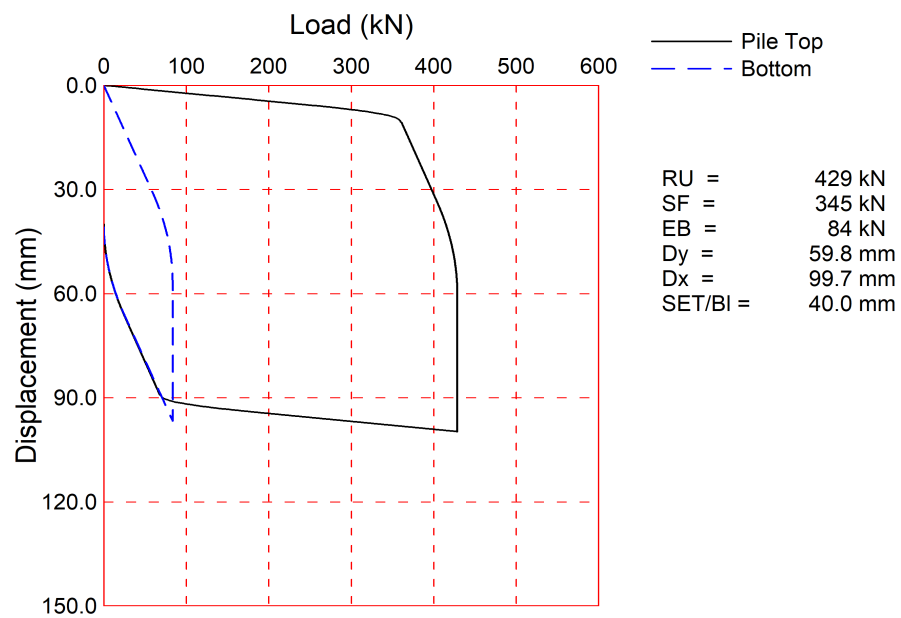
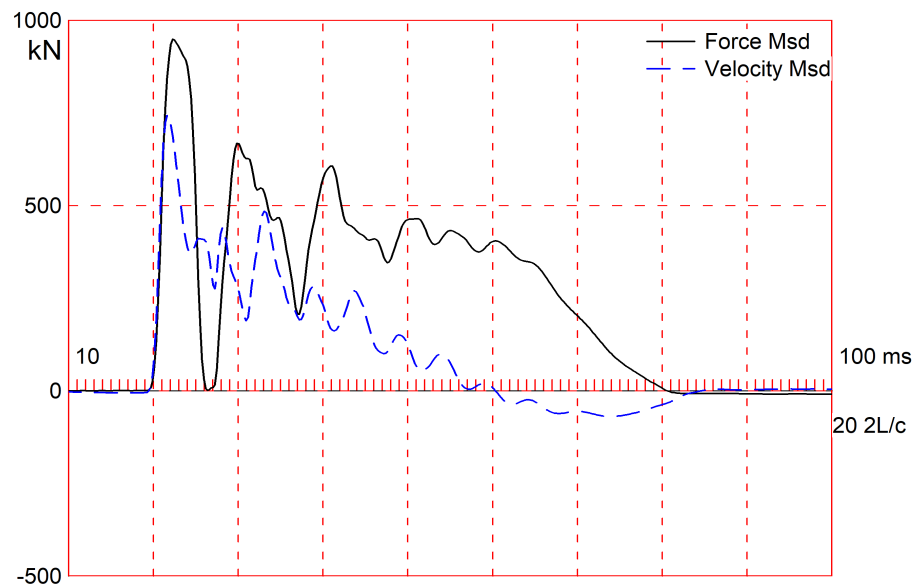
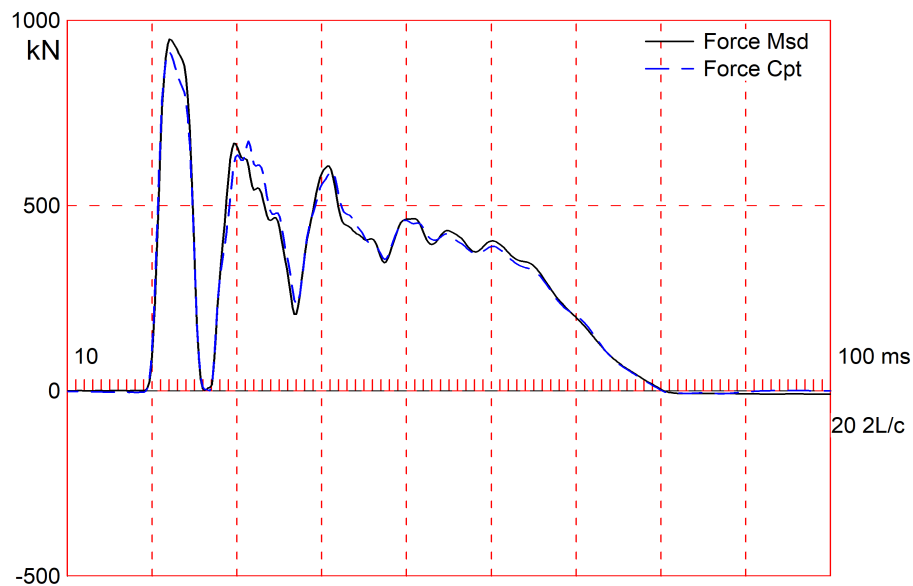
Pile Damping 1.00 %, Time Incr 0.211 ms, 2L/c 3.8 ms

Total volume: 0.048 m³; Volume ratio considering added impedance: 1.000

200310TRi Testfield; Pile: P3 restrike 21d; Juntan HHK 5A; Blow: 1 (Test: 10-Mar-2020 13:43:)

JUNTTAN OY

01-Jun-2020
CAPWAP(R) 2014-3 



200310TRi Testfield; Pile: P3 restrike 21d
 Juntan HHK 5A; Blow: 1
 JUNTAN OY

Test: 10-Mar-2020 13:43
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: TRi

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 428.6; along Shaft 345.1; at Toe 83.5 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa
				428.6			
1	3.2	2.7	80.3	348.3	80.3	29.74	56.25
2	5.3	4.8	80.3	268.0	160.6	37.64	71.19
3	7.5	7.0	79.1	188.9	239.7	37.08	70.13
4	9.6	9.1	105.4	83.5	345.1	49.41	93.44
Avg. Shaft			86.3			37.92	71.72
Toe			83.5				3753.43

Soil Model Parameters/Extensions

	Shaft	Toe
Smith Damping Factor	0.31	0.08
Quake (mm)	6.3	43.5
Case Damping Factor	0.52	0.03
Damping Type	Viscous	Sm+Visc
Unloading Quake (% of loading quake)	47	30
Reloading Level (% of Ru)	100	100
Unloading Level (% of Ru)	80	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)		10.7
Soil Plug Weight (kN)	0.721	
Soil Support Dashpot	3.491	0.000
Soil Support Weight (kN)	5.64	0.00

CAPWAP match quality = 4.22 (Wave Up Match) ; RSA = 0

Observed: Final Set = 40.0 mm; Blow Count = 25 b/m

Computed: Final Set = 42.5 mm; Blow Count = 24 b/m

Transducer F2 (S664) CAL: 141.5; RF: 0.95; F3 (S667) CAL: 142.0; RF: 0.95

A1 (61084) CAL: 1050; RF: 1.05; A4 (61827) CAL: 1058; RF: 1.05

max. Top Comp. Stress = 188.3 MPa (T= 22.5 ms, max= 1.055 x Top)

max. Comp. Stress = 198.7 MPa (Z= 3.2 m, T= 22.9 ms)

max. Tens. Stress = -4.05 MPa (Z= 6.4 m, T= 27.5 ms)

max. Energy (EMX) = 23.8 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)= 46.3 mm

200310TRi Testfield; Pile: P3 restrike 21d
 Juntan HHK 5A; Blow: 1
 JUNTTAN OY

Test: 10-Mar-2020 13:43
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: TRi

EXTREMA TABLE

File Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.1	936.3	-9.0	188.3	-1.80	23.8	3.55	45.9
2	2.1	956.5	-10.9	192.3	-2.19	23.7	3.44	45.5
3	3.2	988.1	-13.4	198.7	-2.69	23.6	3.59	45.1
4	4.3	883.1	-3.2	177.6	-0.64	18.6	3.83	44.7
5	5.3	886.3	-3.2	178.2	-0.65	18.6	4.07	44.4
6	6.4	736.0	-20.1	148.0	-4.05	13.6	4.38	44.2
7	7.5	639.5	-2.4	128.6	-0.48	13.6	4.71	44.0
8	8.5	380.7	-1.4	76.5	-0.28	8.5	4.98	43.8
9	9.6	239.5	-1.3	48.2	-0.26	1.5	5.02	43.6
Absolute	3.2			198.7			(T =	22.9 ms)
	6.4				-4.05		(T =	27.5 ms)

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	671	578	485	391	298	205	111	18	0	0
RX	671	578	485	431	429	428	428	427	427	427
RU	671	578	485	391	298	205	111	18	0	0

RAU = 403 (kN); RA2 = 494 (kN)

Current CAPWAP Ru = 429 (kN); Corresponding J(RP) = 0.26; J(RX) = 0.45

VMX m/s	TVP ms	VT1*Z kN	FT1 kN	FMX kN	DMX mm	DFN mm	SET mm	EMX kJ	QUS kN	KEB kN/mm
3.68	21.63	750	854	955	46.3	42.4	40.0	23.6	548	3

PILE PROFILE AND PILE MODEL

Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.0	49.7	210000.0	78.500	0.53
9.6	49.7	210000.0	78.500	0.53

Toe Area 222.5 cm²

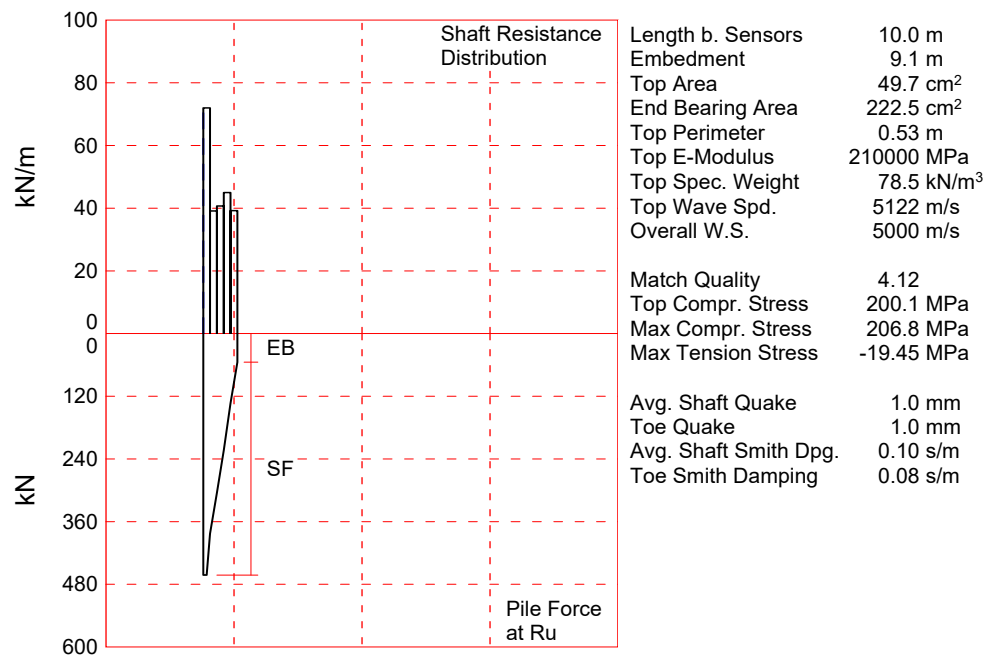
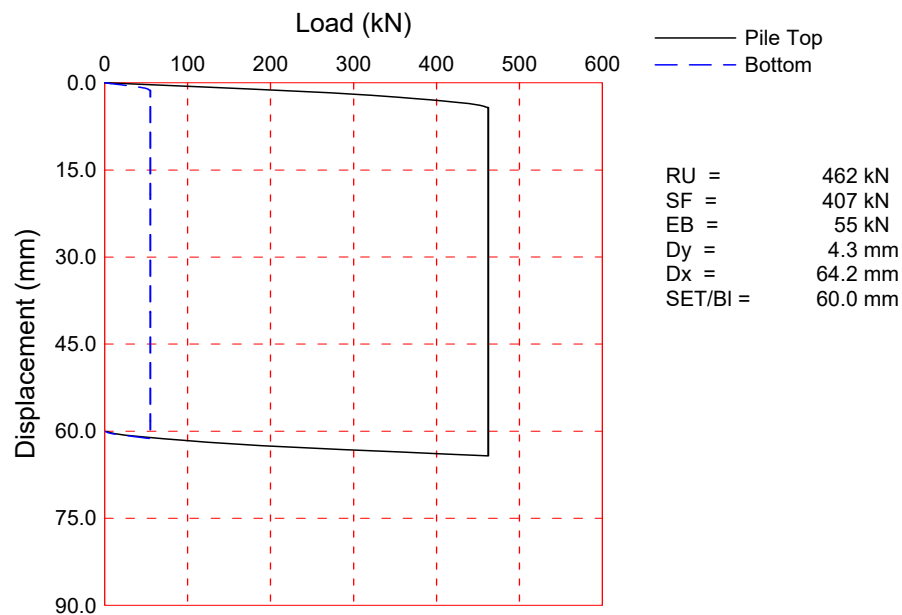
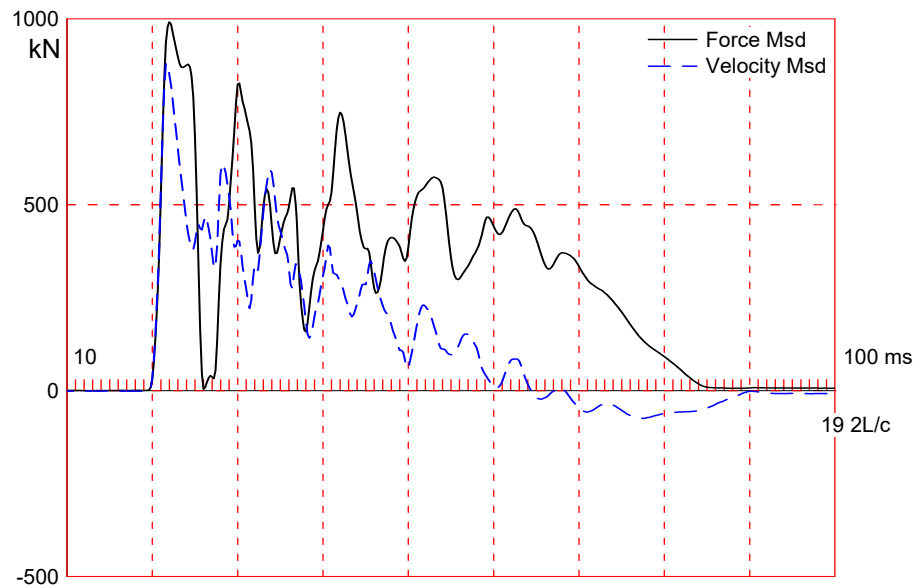
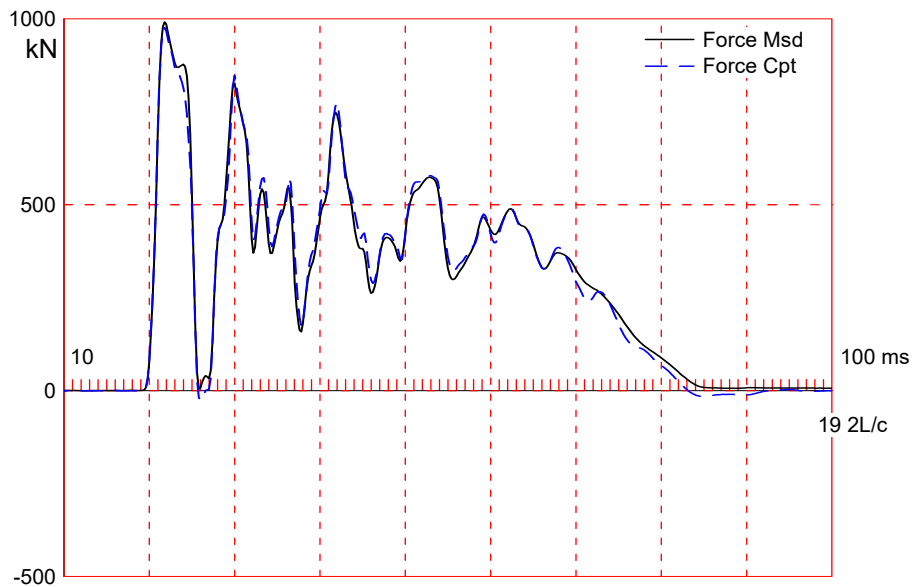
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Tension Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Compression Eff.	Perim. m	Wave Speed m/s	Soil Plug kN
1	1.1	203.9	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	0.53	4930.5	0.000
2	2.1	203.9	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	0.53	4930.5	0.100
3	3.2	203.9	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	0.53	4930.5	0.089
9	9.6	203.9	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	0.53	4930.5	0.089

Wave Speed: Pile Top 5121.9, Elastic 5121.9, Overall 4930.5 m/s

200310TRi Testfield; Pile: P3 restrike 21d
Juntan HHK 5A; Blow: 1
JUNTTAN OY

Test: 10-Mar-2020 13:43
CAPWAP(R) 2014-3
OP: TRi

File Damping 1.00 %, Time Incr 0.216 ms, 2L/c 3.9 ms
Total volume: 0.048 m³; Volume ratio considering added impedance: 1.000



200218TRi Testfield; Pile: P4 170mm 1 day
 Juntan HHK 5A; Blow: 2
 JUNTTAN OY

Test: 18-Feb-2020 09:13
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: TRi

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 462.3; along Shaft 407.3; at Toe 55.0 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa
				462.3			
1	2.0	1.1	79.2	383.1	79.2	72.00	136.18
2	4.0	3.1	78.2	304.9	157.4	39.10	73.95
3	6.0	5.1	81.4	223.5	238.8	40.70	76.98
4	8.0	7.1	90.0	133.5	328.8	45.00	85.11
5	10.0	9.1	78.5	55.0	407.3	39.25	74.23
Avg. Shaft			81.5			44.76	84.65
Toe			55.0				2472.32

Soil Model Parameters/Extensions

	Shaft	Toe
Smith Damping Factor	0.10	0.08
Quake (mm)	1.0	1.0
Case Damping Factor	0.19	0.02
Damping Type	Viscous	Viscous
Unloading Quake (% of loading quake)	300	30
Reloading Level (% of Ru)	100	100
Unloading Level (% of Ru)	61	
Soil Plug Weight (kN)		0.275
Soil Support Dashpot	2.016	3.000
Soil Support Weight (kN)	5.29	5.29

CAPWAP match quality = 4.12 (Wave Up Match) ; RSA = 0
 Observed: Final Set = 60.0 mm; Blow Count = 17 b/m
 Computed: Final Set = 59.6 mm; Blow Count = 17 b/m
 Transducer F2 (S664) CAL: 141.5; RF: 1.00; F3 (S667) CAL: 142.0; RF: 1.00
 A1 (61084) CAL: 1050; RF: 1.00; A4 (61827) CAL: 1058; RF: 1.00

max. Top Comp. Stress = 200.1 MPa (T= 22.2 ms, max= 1.033 x Top)
 max. Comp. Stress = 206.8 MPa (Z= 2.0 m, T= 22.4 ms)
 max. Tens. Stress = -19.45 MPa (Z= 7.0 m, T= 27.2 ms)
 max. Energy (EMX) = 31.6 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)= 60.7 mm

200218Tri Testfield; Pile: P4 170mm 1 day
 Juntan HHK 5A; Blow: 2
 JUNTTAN OY

Test: 18-Feb-2020 09:13
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: Tri

EXTREMA TABLE

Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	995.2	-32.4	200.1	-6.52	31.6	4.24	60.0
2	2.0	1028.3	-16.7	206.8	-3.37	31.6	4.12	59.9
3	3.0	940.3	-54.4	189.1	-10.94	26.2	4.09	59.8
4	4.0	972.4	-8.9	195.5	-1.78	26.2	4.35	59.7
5	5.0	883.5	-60.0	177.7	-12.07	21.0	4.51	59.6
6	6.0	887.4	-31.2	178.4	-6.28	21.0	4.70	59.5
7	7.0	746.7	-96.7	150.1	-19.45	15.5	4.93	59.5
8	8.0	683.6	-60.6	137.5	-12.18	15.5	5.23	59.4
9	9.0	476.7	-82.1	95.9	-16.51	9.4	5.55	59.3
10	10.0	322.5	-0.1	64.8	-0.03	3.8	5.79	59.3
Absolute	2.0			206.8			(T = 22.4 ms)	
	7.0				-19.45		(T = 27.2 ms)	

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	770	662	553	445	336	228	119	11	0	0
RX	770	662	553	462	462	462	462	462	462	462
RU	770	662	553	445	336	228	119	11	0	0
RAU =	462 (kN);		RA2 = 487 (kN)							

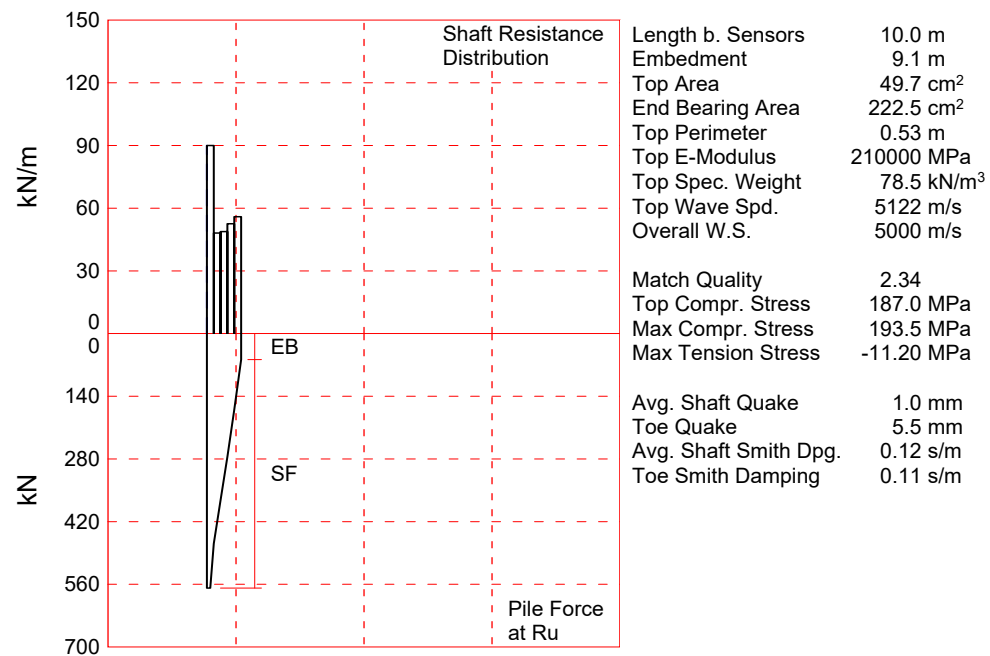
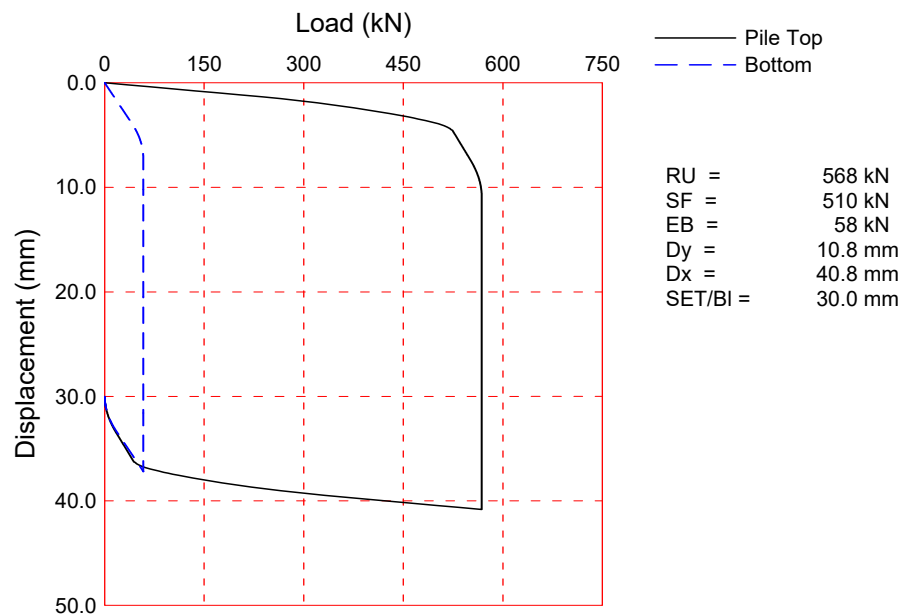
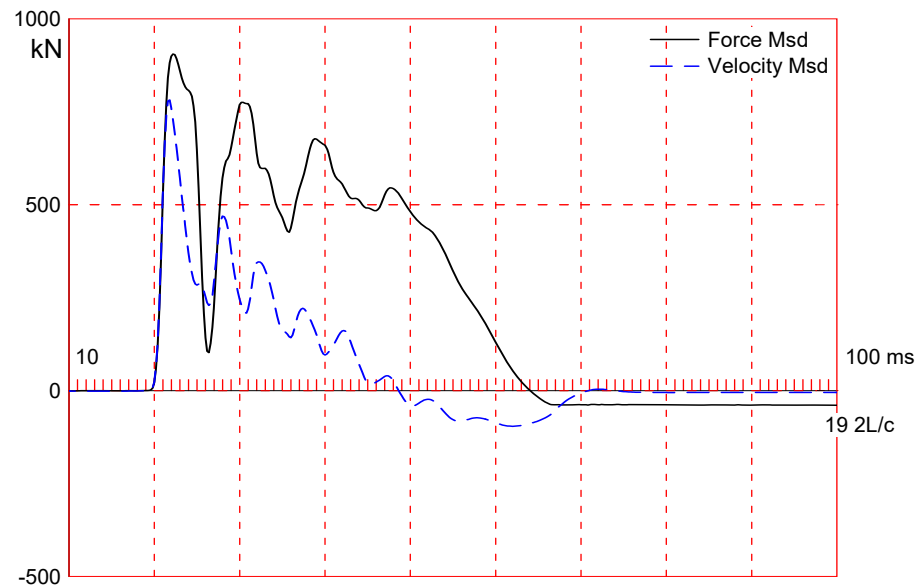
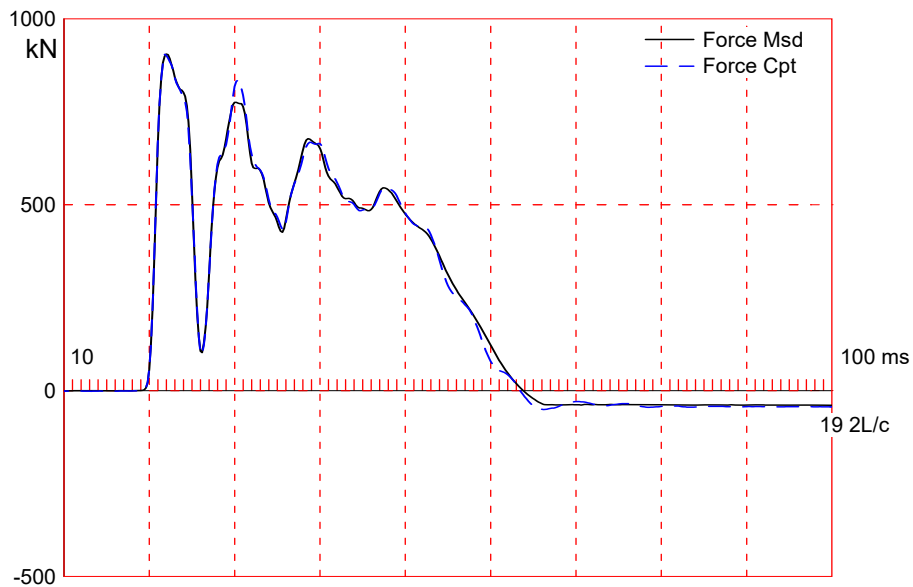
Current CAPWAP Ru = 462 (kN); Corresponding J(RP)= 0.28; J(RX) = 0.30

VMX m/s	TVP ms	VT1*Z kN	FT1 kN	FMX kN	DMX mm	DFN mm	SET mm	EMX kJ	QUS kN	KEB kN/mm
4.39	21.60	895	960	994	60.7	60.0	60.0	31.8	528	55

PILE PROFILE AND PILE MODEL

Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.0	49.7	210000.0	78.500	0.53
10.0	49.7	210000.0	78.500	0.53

Toe Area 222.5 cm²
 Top Segment Length 1.00 m, Top Impedance 204 kN/m/s
 Wave Speed: Pile Top 5121.9, Elastic 5121.9, Overall 5000.0 m/s
 Pile Damping 1.00 %, Time Incr 0.200 ms, 2L/c 4.0 ms
 Total volume: 0.050 m³; Volume ratio considering added impedance: 1.000



200310Tri Testfield; Pile: P4 restrike 21d
 Juntan HHK 5A; Blow: 1
 JUNTTAN OY

Test: 10-Mar-2020 13:36
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: Tri

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 568.1; along Shaft 509.8; at Toe 58.3 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa
				568.1			
1	2.0	1.1	99.0	469.1	99.0	90.00	170.22
2	4.0	3.1	96.2	372.9	195.2	48.10	90.97
3	6.0	5.1	97.6	275.3	292.8	48.80	92.30
4	8.0	7.1	105.1	170.2	397.9	52.55	99.39
5	10.0	9.1	111.9	58.3	509.8	55.95	105.82
Avg. Shaft			102.0			56.02	105.96
Toe			58.3				2620.66

Soil Model Parameters/Extensions

	Shaft	Toe
Smith Damping Factor	0.12	0.11
Quake (mm)	1.0	5.5
Case Damping Factor	0.29	0.03
Damping Type	Viscous	Viscous
Unloading Quake (% of loading quake)	100	82
Reloading Level (% of Ru)	100	100
Unloading Level (% of Ru)	11	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)		2.8
Soil Plug Weight (kN)	0.071	0.412
Soil Support Dashpot	0.000	6.109
Soil Support Weight (kN)	0.00	5.29

CAPWAP match quality = 2.34 (Wave Up Match) ; RSA = 0
 Observed: Final Set = 30.0 mm; Blow Count = 33 b/m
 Computed: Final Set = 28.4 mm; Blow Count = 35 b/m
 Transducer F2 (S664) CAL: 141.5; RF: 1.00; F3 (S667) CAL: 142.0; RF: 1.00
 A1 (61084) CAL: 1050; RF: 1.00; A4 (61827) CAL: 1058; RF: 1.00

max. Top Comp. Stress = 187.0 MPa (T= 22.6 ms, max= 1.035 x Top)
 max. Comp. Stress = 193.5 MPa (Z= 2.0 m, T= 22.4 ms)
 max. Tens. Stress = -11.20 MPa (Z= 2.0 m, T= 66.8 ms)
 max. Energy (EMX) = 21.0 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)= 33.7 mm

200310Tri Testfield; Pile: P4 restrike 21d
 Juntan HHK 5A; Blow: 1
 JUNTTAN OY

Test: 10-Mar-2020 13:36
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: Tri

EXTREMA TABLE

Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	929.9	-53.1	187.0	-10.69	21.0	3.66	32.8
2	2.0	962.1	-55.7	193.5	-11.20	20.8	3.53	32.3
3	3.0	856.8	-46.4	172.3	-9.33	17.0	3.36	31.8
4	4.0	891.5	-48.0	179.3	-9.66	16.9	3.23	31.4
5	5.0	786.1	-36.2	158.1	-7.27	13.4	3.18	31.0
6	6.0	804.3	-35.8	161.7	-7.20	13.4	3.40	30.7
7	7.0	671.1	-22.8	134.9	-4.59	9.8	3.67	30.5
8	8.0	615.6	-22.7	123.8	-4.57	9.8	3.95	30.3
9	9.0	385.1	-10.5	77.4	-2.11	6.1	4.19	30.2
10	10.0	293.5	-11.9	59.0	-2.40	1.9	4.33	30.0
Absolute	2.0			193.5			(T = 22.4 ms)	
	2.0				-11.20		(T = 66.8 ms)	

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	811	725	639	553	467	380	294	208	122	36
RX	811	725	639	585	572	569	568	567	567	567
RU	811	725	639	553	467	380	294	208	122	36
RAU =	475 (kN);		RA2 = 636 (kN)							

Current CAPWAP Ru = 568 (kN); Corresponding J(RP)= 0.28; J(RX) = 0.62

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS	KEB
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN	kN/mm
3.88	21.80	791	882	907	33.7	30.0	30.0	21.4	671	21

PILE PROFILE AND PILE MODEL

Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.0	49.7	210000.0	78.500	0.53
10.0	49.7	210000.0	78.500	0.53

Toe Area 222.5 cm²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Tension Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Compression Eff.	Perim. m	Wave Speed m/s	Soil Plug kN
1	1.0	203.9	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	0.53	5000.0	0.000
2	2.0	203.9	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	0.53	5000.0	0.016
3	3.0	203.9	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	0.53	5000.0	0.007

200310TRi Testfield; Pile: P4 restrike 21d
 Juntan HHK 5A; Blow: 1
 JUNTTAN OY

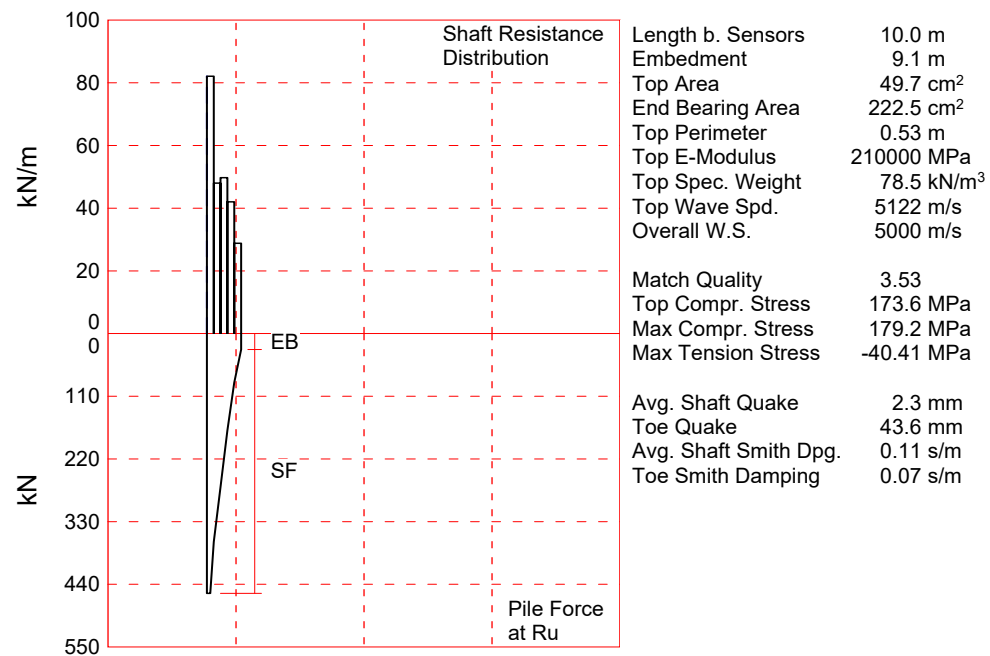
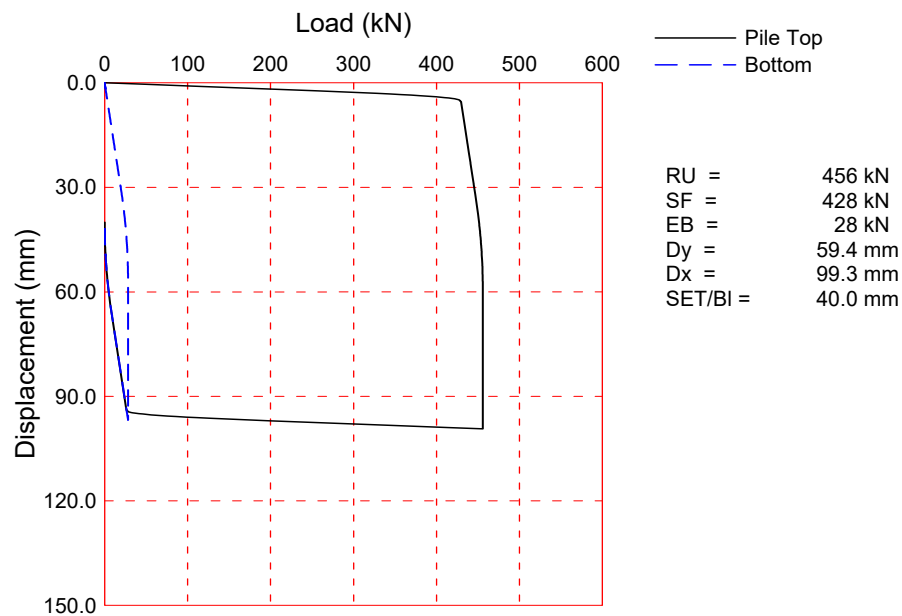
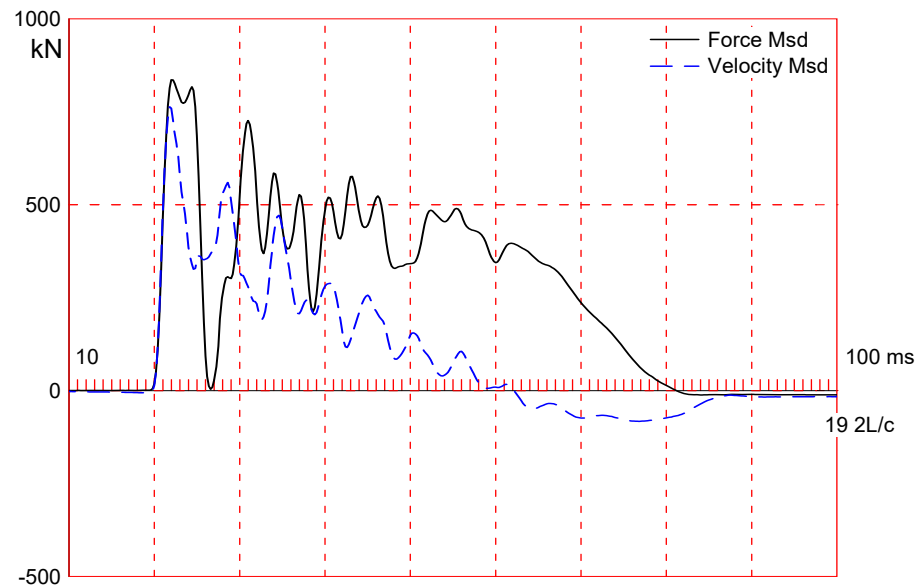
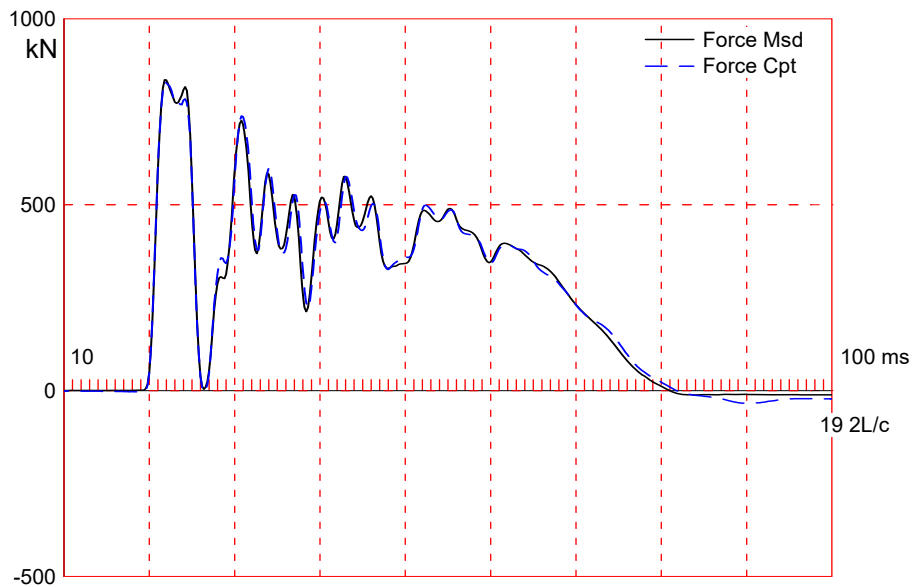
Test: 10-Mar-2020 13:36
 CAPWAP(R) 2014-3
 OP: TRi

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Tension Slack mm	Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Wave Speed m/s	Soil Plug kN
10	10.0	203.9	0.0	0.00	0.000	-0.00	0.000	0.53	5000.0	0.007

Wave Speed: Pile Top 5121.9, Elastic 5121.9, Overall 5000.0 m/s

Pile Damping 1.00 %, Time Incr 0.200 ms, 2L/c 4.0 ms

Total volume: 0.050 m³; Volume ratio considering added impedance: 1.000



200218Tri Testfield; Pile: P5 170mm open 1 day
 Juntan HHK 5A; Blow: 2
 JUNTTAN OY

Test: 18-Feb-2020 09:07
 CAPWAP(R) 2014-3
 OP: Tri

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 455.8; along Shaft 427.6; at Toe 28.2 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Quake mm
				455.8				
1	2.0	1.1	90.3	365.5	90.3	82.09	155.26	2.3
2	4.0	3.1	96.0	269.5	186.3	48.00	90.78	2.3
3	6.0	5.1	99.5	170.0	285.8	49.75	94.09	2.3
4	8.0	7.1	84.1	85.9	369.9	42.05	79.53	2.3
5	10.0	9.1	57.7	28.2	427.6	28.85	54.56	2.3
Avg. Shaft			85.5			46.99	88.87	2.3
Toe			28.2				1267.63	43.6

Soil Model Parameters/Extensions

	Shaft	Toe
Smith Damping Factor	0.11	0.07
Case Damping Factor	0.23	0.01
Damping Type	Viscous	Viscous
Unloading Quake (% of loading quake)	300	1048
Reloading Level (% of Ru)	100	100
Unloading Level (% of Ru)	22	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)		35.4
Soil Plug Weight (kN)		0.755
Soil Support Dashpot	2.120	3.000
Soil Support Weight (kN)	5.30	5.29

CAPWAP match quality = 3.53 (Wave Up Match) ; RSA = 0
 Observed: Final Set = 40.0 mm; Blow Count = 25 b/m
 Computed: Final Set = 43.8 mm; Blow Count = 23 b/m
 Transducer F2 (S664) CAL: 141.5; RF: 1.00; F3 (S667) CAL: 142.0; RF: 1.00
 A1 (61084) CAL: 1050; RF: 1.00; A4 (61827) CAL: 1058; RF: 1.00
 max. Top Comp. Stress = 173.6 MPa (T= 22.4 ms, max= 1.032 x Top)
 max. Comp. Stress = 179.2 MPa (Z= 2.0 m, T= 22.4 ms)
 max. Tens. Stress = -40.41 MPa (Z= 9.0 m, T= 27.8 ms)
 max. Energy (EMX) = 23.3 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)= 48.3 mm

200218Tri Testfield; Pile: P5 170mm open 1 day
 Juntan HHK 5A; Blow: 2
 JUNTTAN OY

Test: 18-Feb-2020 09:07
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: Tri

EXTREMA TABLE

Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	863.1	-33.5	173.6	-6.73	23.3	3.64	47.7
2	2.0	891.1	-33.2	179.2	-6.67	23.3	3.47	47.3
3	3.0	805.3	-65.5	161.9	-13.17	18.5	3.34	47.0
4	4.0	831.6	-35.2	167.2	-7.07	18.4	3.57	46.7
5	5.0	744.7	-111.8	149.7	-22.49	13.4	3.73	46.5
6	6.0	768.4	-93.8	154.5	-18.86	13.4	3.81	46.3
7	7.0	633.9	-185.3	127.5	-37.26	8.2	4.00	46.2
8	8.0	608.1	-161.6	122.3	-32.48	8.2	4.20	46.1
9	9.0	453.1	-201.0	91.1	-40.41	3.8	4.46	46.0
10	10.0	331.2	-118.7	66.6	-23.87	0.4	4.67	46.0
Absolute	2.0			179.2			(T =	22.4 ms)
	9.0				-40.41		(T =	27.8 ms)

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	698	608	519	429	339	249	159	69	0	0
RX	698	608	519	487	474	465	459	454	452	450
RU	698	608	519	429	339	249	159	69	0	0

RAU = 373 (kN); RA2 = 403 (kN)

Current CAPWAP Ru = 456 (kN); Corresponding J(RP)= 0.27; J(RX) = 0.67

VMX m/s	TVP ms	VT1*Z kN	FT1 kN	FMX kN	DMX mm	DFN mm	SET mm	EMX kJ	QUS kN	KEB kN/mm
3.78	21.80	772	825	843	48.3	40.0	40.0	23.4	531	3

PILE PROFILE AND PILE MODEL

Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.0	49.7	210000.0	78.500	0.53
10.0	49.7	210000.0	78.500	0.53

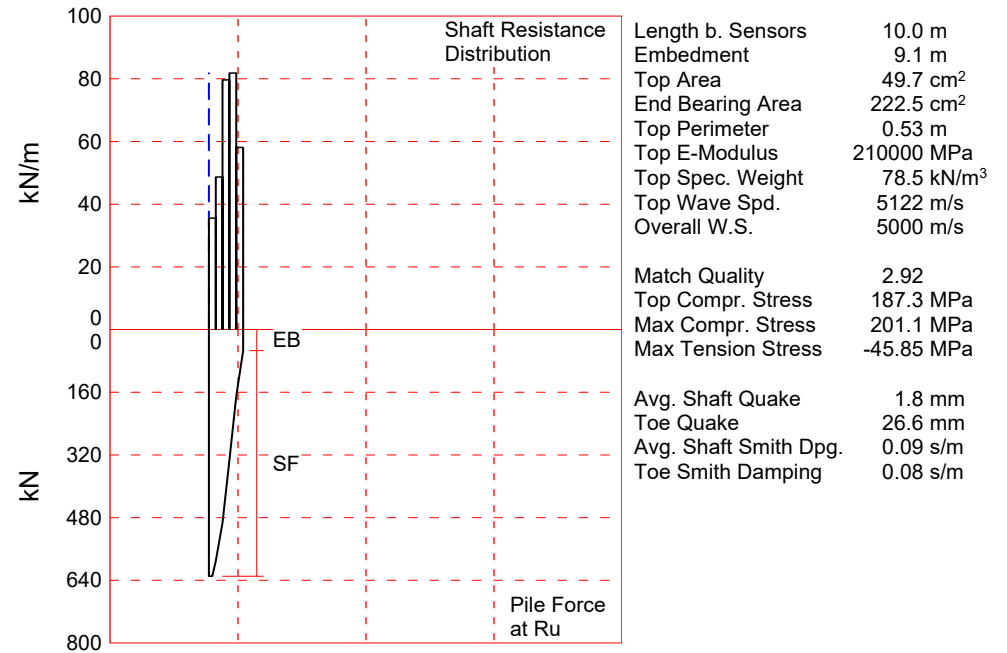
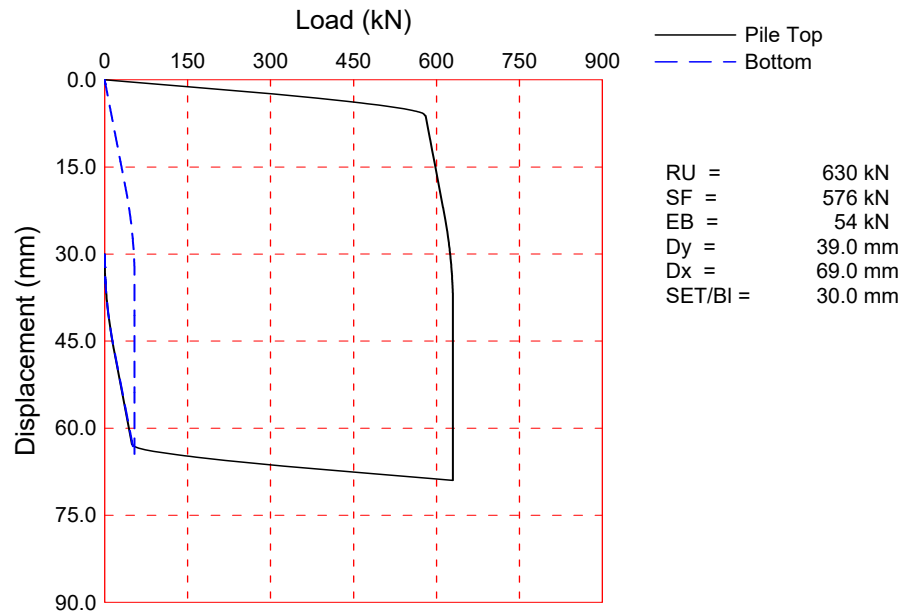
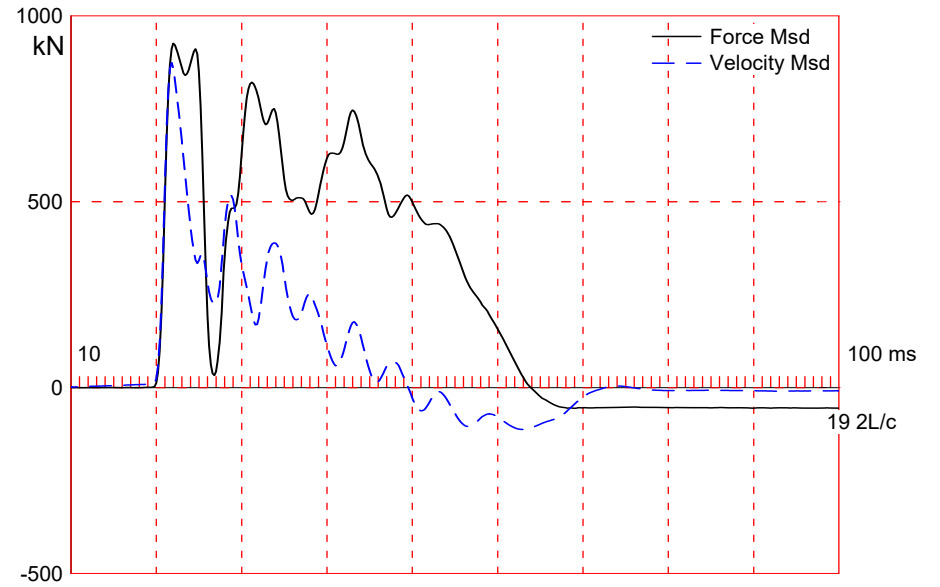
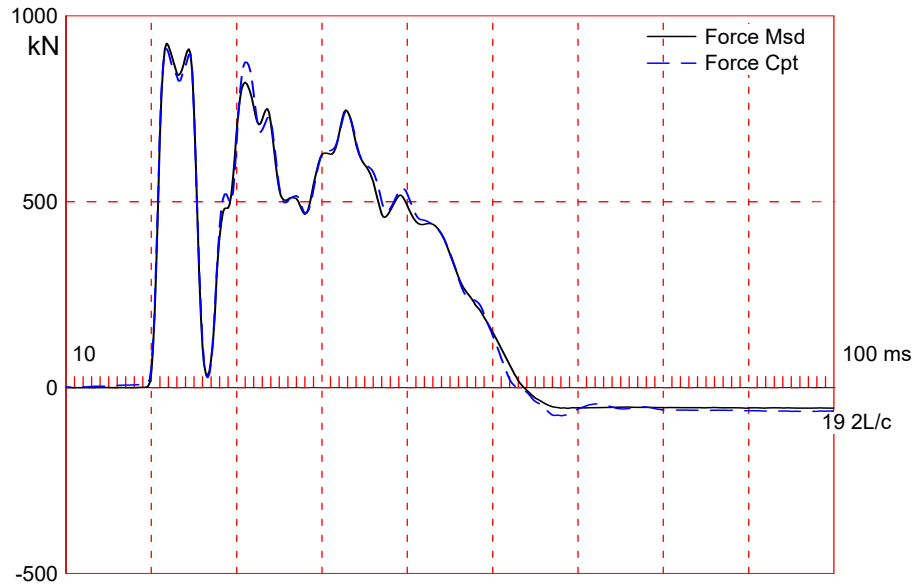
Toe Area 222.5 cm²

Top Segment Length 1.00 m, Top Impedance 204 kN/m/s

Wave Speed: Pile Top 5121.9, Elastic 5121.9, Overall 5000.0 m/s

Pile Damping 1.00 %, Time Incr 0.200 ms, 2L/c 4.0 ms

Total volume: 0.050 m³; Volume ratio considering added impedance: 1.000



200310Tri Testfield; Pile: P5 restrrike 21d
 Juntan HHK 5A; Blow: 2
 JUNTTAN OY

Test: 10-Mar-2020 13:29
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: Tri

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 629.7; along Shaft 575.5; at Toe 54.2 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa
				629.7			
1	2.0	1.1	39.1	590.6	39.1	35.55	67.23
2	4.0	3.1	97.3	493.3	136.4	48.65	92.01
3	6.0	5.1	159.3	334.0	295.7	79.65	150.64
4	8.0	7.1	163.6	170.4	459.3	81.80	154.71
5	10.0	9.1	116.2	54.2	575.5	58.10	109.89
Avg. Shaft			115.1			63.24	119.61
Toe			54.2				2436.36

Soil Model Parameters/Extensions

	Shaft	Toe
Smith Damping Factor	0.09	0.08
Quake (mm)	1.8	26.6
Case Damping Factor	0.27	0.02
Damping Type	Sm+Visc	Sm+Visc
Unloading Quake (% of loading quake)	100	30
Reloading Level (% of Ru)	100	100
Unloading Level (% of Ru)	12	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)		25.6
Soil Plug Weight (kN)		0.883
Soil Support Dashpot	0.000	3.000
Soil Support Weight (kN)	0.00	5.29

CAPWAP match quality = 2.92 (Wave Up Match) ; RSA = 0
 Observed: Final Set = 30.0 mm; Blow Count = 33 b/m
 Computed: Final Set = 30.4 mm; Blow Count = 33 b/m
 Transducer F2 (S664) CAL: 141.5; RF: 1.00; F3 (S667) CAL: 142.0; RF: 1.00
 A1 (61084) CAL: 1050; RF: 1.00; A4 (61827) CAL: 1058; RF: 1.00

max. Top Comp. Stress = 187.3 MPa (T= 22.2 ms, max= 1.074 x Top)
 max. Comp. Stress = 201.1 MPa (Z= 4.0 m, T= 23.2 ms)
 max. Tens. Stress = -45.85 MPa (Z= 9.0 m, T= 28.0 ms)
 max. Energy (EMX) = 23.7 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)= 38.2 mm

200310Tri Testfield; Pile: P5 restrike 21d
 Juntan HHK 5A; Blow: 2
 JUNTTAN OY

Test: 10-Mar-2020 13:29
 CAPWAP (R) 2014-3
 OP: Tri

EXTREMA TABLE

Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	931.3	-78.7	187.3	-15.82	23.7	4.23	36.7
2	2.0	961.0	-81.9	193.2	-16.47	23.6	4.14	36.1
3	3.0	945.6	-79.3	190.1	-15.95	21.9	3.94	35.6
4	4.0	1000.3	-81.4	201.1	-16.36	21.7	3.78	35.2
5	5.0	922.3	-68.6	185.4	-13.80	17.8	3.57	34.8
6	6.0	972.6	-68.7	195.6	-13.82	17.8	3.66	34.4
7	7.0	804.2	-145.4	161.7	-29.24	11.6	3.82	34.1
8	8.0	771.6	-120.5	155.2	-24.22	11.6	4.10	33.8
9	9.0	524.8	-228.0	105.5	-45.85	5.3	4.39	33.7
10	10.0	420.9	-131.9	84.6	-26.53	0.5	4.64	33.6
Absolute	4.0			201.1			(T =	23.2 ms)
	9.0				-45.85		(T =	28.0 ms)

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	904	816	727	639	550	461	373	284	195	107
RX	904	816	727	661	648	639	632	629	626	623
RU	904	816	727	639	550	461	373	284	195	107
RAU =	371 (kN);		RA2 = 659 (kN)							

Current CAPWAP Ru = 630 (kN); Corresponding J(RP)= 0.31; J(RX) = 0.68

VMX m/s	TVP ms	VT1*Z kN	FT1 kN	FMX kN	DMX mm	DFN mm	SET mm	EMX kJ	QUS kN	KEB kN/mm
4.31	21.80	880	911	928	38.2	30.0	30.0	24.3	712	51

PILE PROFILE AND PILE MODEL

Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.0	49.7	210000.0	78.500	0.53
10.0	49.7	210000.0	78.500	0.53

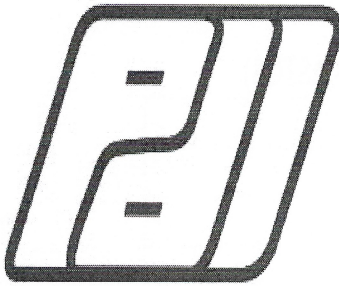
Toe Area 222.5 cm²

Top Segment Length 1.00 m, Top Impedance 204 kN/m/s

Wave Speed: Pile Top 5121.9, Elastic 5121.9, Overall 5000.0 m/s

Pile Damping 1.00 %, Time Incr 0.200 ms, 2L/c 4.0 ms

Total volume: 0.050 m³; Volume ratio considering added impedance: 1.000



Certificate of Calibration

Transducer Model: PDI Transducer

Pile Dynamics, Inc.

Serial Number: S664

PDI Gage Factor: 141.5 me/V

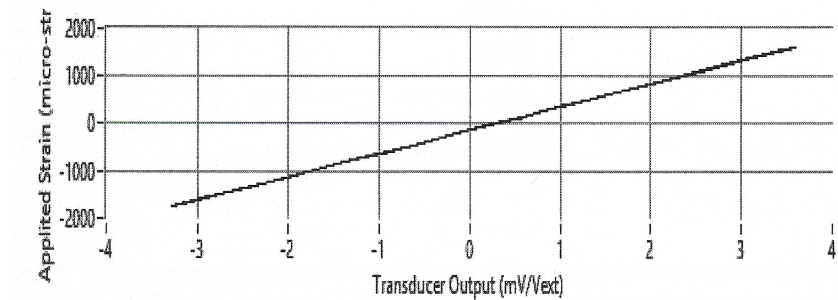
General Gage Factor: 491.3 me/mV/V_{ext}

Initial Offset Voltage: 0.240 mV/V_{ext}

Table 1: Representative Calibration Data

Applied Strain (micro-strain)	Transducer Output (mV/Vext)	Applied Strain (micro-strain)	Transducer Output (mV/Vext)
150.484	0.592	307.069	0.888
5.269	0.264	417.361	1.123
-273.557	-0.311	565.004	1.434
-561.911	-0.868	810.552	1.908
-842.504	-1.476	1100.402	2.545
-1125.015	-2.012	1399.801	3.127
-1404.942	-2.584	1628.431	3.588
-1678.426	-3.143	1557.485	3.447
-1754.585	-3.277	1262.647	2.826
-1588.424	-2.970	964.555	2.253
-1304.419	-2.356	676.599	1.626
-1014.484	-1.792	500.880	1.287
-730.986	-1.209	387.770	1.061
-443.799	-0.611	235.956	0.733
-157.605	-0.064	130.710	0.538
101.880	0.498	128.076	0.510

Calibration Curve



Mean Linear Correlation Coefficient (LCC): 0.999956

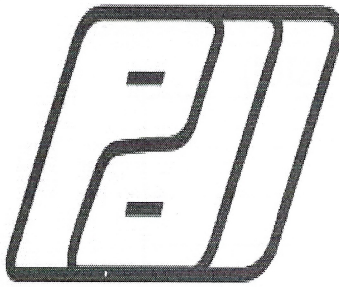
LCC Standard Deviation: 6.300692E-7

Calibrated By: Kay Tol

Signature: *Kay Tol*

Temperature (Degrees C): 25.8

MAY 07 2019



Certificate of Calibration

Transducer Model: PDI Transducer

Pile Dynamics, Inc.

Serial Number: S667

PDI Gage Factor: 142.0 meV

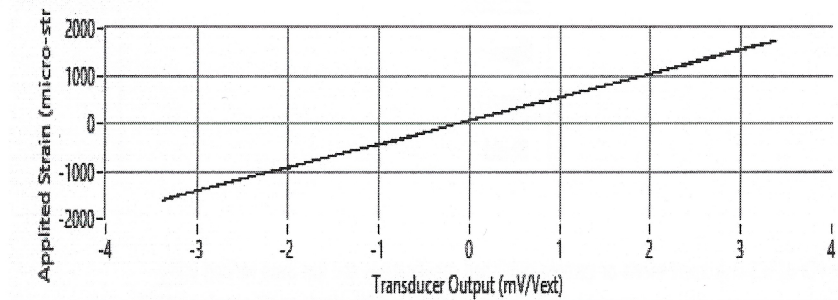
General Gage Factor: 492.9 me/mV_{ext}

Initial Offset Voltage: 0.169 mV/V_{ext}

Table 1: Representative Calibration Data

Applied Strain (micro-strain)	Transducer Output (mV/V _{ext})	Applied Strain (micro-strain)	Transducer Output (mV/V _{ext})
281.332	0.413	431.054	0.711
139.531	0.103	542.474	0.982
-135.884	-0.474	697.023	1.266
-419.637	-1.004	933.306	1.710
-697.924	-1.605	1222.040	2.341
-975.385	-2.146	1517.763	2.923
-1253.137	-2.706	1744.765	3.379
-1520.840	-3.270	1679.904	3.250
-1596.019	-3.379	1380.957	2.612
-1437.781	-3.084	1088.321	2.056
-1154.823	-2.495	801.399	1.445
-871.313	-1.929	626.682	1.064
-591.267	-1.370	507.253	0.863
-306.778	-0.765	371.499	0.555
-26.440	-0.230	275.798	0.406
231.147	0.319	277.770	0.379

Calibration Curve



Mean Linear Correlation Coefficient (LCC): 0.999958

LCC Standard Deviation: 2.100126E-6

Calibrated By: Kay Tol

Signature: *Kay Tol*

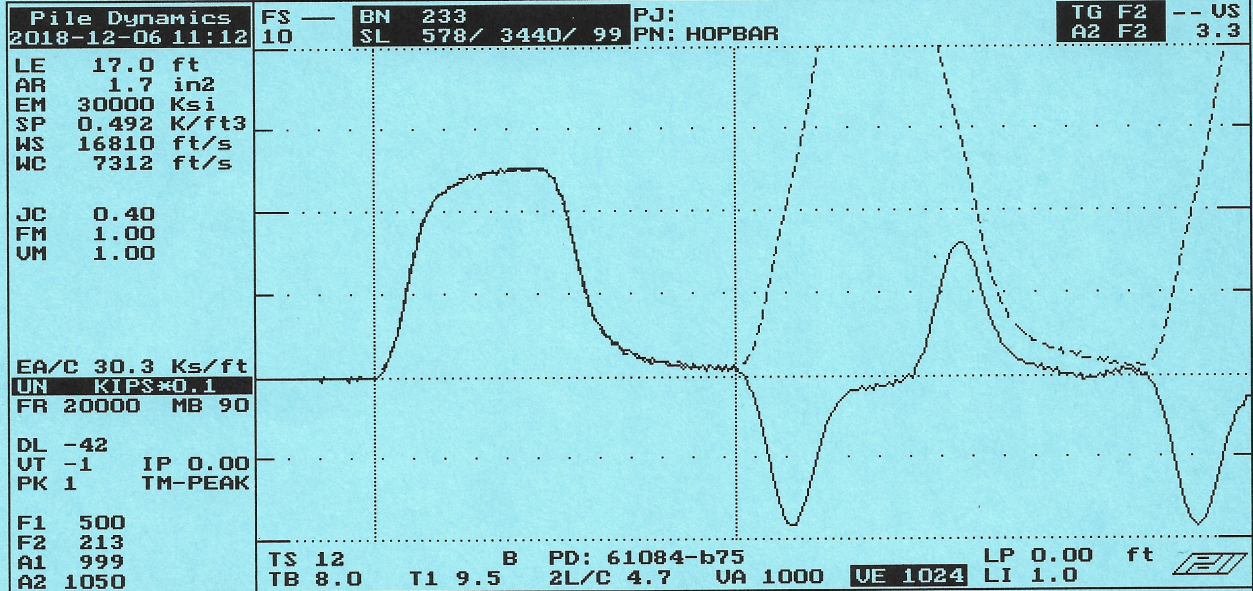
Temperature (Degrees C): 26.1

MAY 07 2019

OBTA: ON [ALT-F1/BB=60]

Pile Dynamics, Inc.

DPF



ACCEPT SQ-OFF FL-OFF PR-OFF ACCEPT 	VMX= 4.1 FMX= 64 AMX= 139 EMX= 0.2 MEX= 125 FVP= 1.00 ACCELEROMETER CALIBRATION N.I.S.T. Traceable SERIAL NUMBER: 61084 CALIBRATION FACTOR: 1050 g/v PAK (*5000): DATE: DEC 11 2018 PDA OPERATOR: <i>[Signature]</i> OP: laine [ver:5.01]
---	--

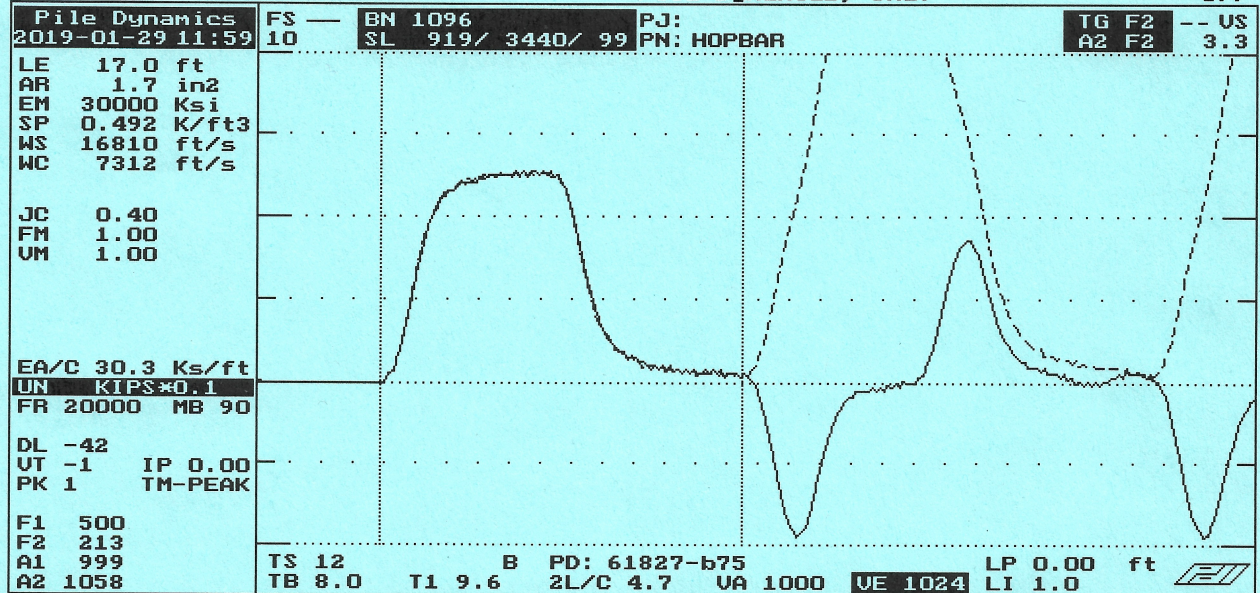
Smart Sensor

Smart Chip Programmed By DS on 07 DEC 2018 CRC Value 0306

QBTA: ON [ALT-F1/BB=60]

File Dynamics, Inc.

DPF



ACCEPT SQ-OFF FL-OFF PR-OFF ACCEPT 	UMX= 4.2 FMX= 65 AMX= 149 EMX= 0.3 MEX= 127 FVP= 1.00 ACCELEROMETER CALIBRATION N.I.S.T. Traceable SERIAL NUMBER: 61827 CALIBRATION FACTOR: 1058 % PAK (*5000): DATE: MAR 19 2019 PDA OPERATOR: <i>DS</i>
---	---

<-AT:PIEZORESISTIVE OP: laine [ver:5.01] AT:PIEZOELECTRIC->

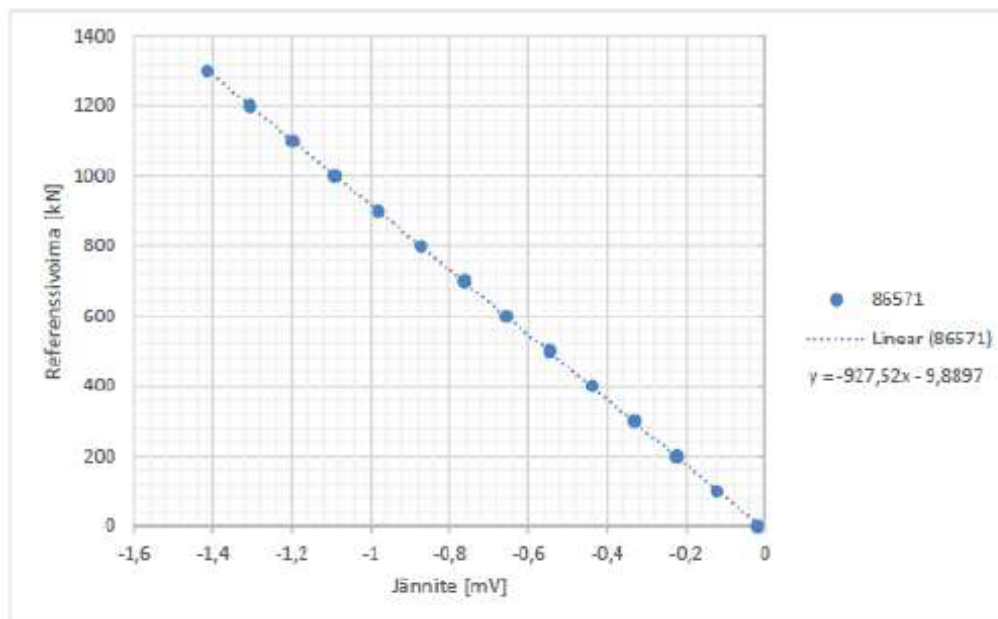
Smart Sensor

Smart Chip Programmed By DS on 30 JAN 2019 CRC Value B395

Kalibrointi päivämäärä: 3.6.2019

Syöttöjännite: 5 V

VOIMAN KALIBROINTI		0-1300 kN
Anturin numero		86571
Voima [kN]	Referenssivoima [kN]	Jännite [mV]
0	0	-0,0191
100	100	-0,1224
200	200	-0,2232
300	300	-0,3317
400	400	-0,4381
500	500	-0,5454
600	600	-0,6556
700	700	-0,7626
800	800	-0,872
900	900	-0,9808
1000	1000	-1,0901
1100	1100	-1,1981
1200	1200	-1,3064
1300	1300	-1,4149
1000	1000	-1,0897
800	800	-0,8696
400	400	-0,4347
200	200	-0,2194
0	0	-0,0204





Väylävirasto
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-317-792-5
www.vayla.fi