

Eetu Terho

Paalutuksessa
materiaalivertailu

käytettävien

iskutyynyjen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

30.3.2017

Tekijä(t) Otsikko	Eetu Terho Paalutuksessa käytettävien iskutyynyjen materiaalivertailu
Sivumäärä Aika	36 sivua + 2 liitettä 30.3.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaaja(t)	Tuotekehitysjohtaja, Markku Penttinen Lehtori, Aarne Seppänen
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Junttan Oy:lle, joka on hydraulisten paalutuskoneiden valmistukseen, suunnitteluun, markkinointiin ja huoltoon erikoistunut yhtiö.</p> <p>Tarkoituksena oli vertailla puisen ja muovista valmistetun Nylatron-iskutyynyn eroja haastavissa pohjarakenneolosuhteissa sekä tutkia Iskutyynyjen kautta paaluun kohdistuvien voimien suuruuksia, kantavuutta ja ehjyyttä PDA-mittauksilla. Lopuksi tuloksia vertailemalla määritetään Nylatron-iskutyynylle hinta, jolla sitä tulisi kaupata asiakkaille, jotta sen käyttö olisi kannattavaa.</p> <p>Työ toteutettiin Maanrakennusliike E.M. Pekkinen Oy:n työmaalla Helsingin Kalasatamassa. Työssä käytetty paalutuskone oli Kantolan paalutus Oy:ltä vuokrattu Junttan PMx20, johon oli kiinnitetty Junttanin HHK A -sarjan neljän tuhannen kilogramman järkäle.</p>	
Avainsanat	Paalutus, iskutyyny, PDA, Junttan, Järkäle

Author(s) Title	Eetu Terho Impact pad's material comparison used in piling
Number of Pages Date	36 pages + 2 appendices 30 march 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil engineering
Specialisation option	Infraconstruction engineering
Instructor(s)	Markku Penttinen, R&D Director Aarne Seppänen, Lecturer
<p>This thesis was made for Junttan Ltd, which specializes in manufacture, design, marketing and maintenance of hydraulic piledrivers.</p> <p>The aim is to compare differences of the wooden and the plastic made Nylatron impact pads in challenging base construction conditions and investigate the forces, bearing capacities and integrities of the pile with PDA-measurements. Finally by comparing the results the price of Nylatron impact pads are determined to which it should be sold to customers, so that its use would be profitable.</p> <p>The work was carried out at Maanrakennusliike E. M. Pekkinen Ltd's construction site in Helsinki's Kalasatama and pile-driver, which was used in the work was Junttan PMx20 attached with the Junttan HHK A-series four thousand kilogram hammer and it was rented from Kantola's piling Ltd.</p>	
Keywords	piling, impact pad, PDA, Junttan, hammer

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Aiheen esittely	1
1.2	Rajaukset ja tutkimuksen tarkoitus	1
1.3	Tutkimusmenetelmät	2
2	Yleistä paalutuksesta	3
2.1	Paalutustekniikat	3
2.1.1	Lyöntipaalutus	3
2.1.2	Lyöntivalupaalutus	5
2.1.3	Porapaalutus	6
2.1.4	Syvästabilointi	7
2.1.5	CFA-menetelmä	8
2.1.6	Kelly-menetelmä	8
2.2	Teräsbetonipaalu	9
2.3	Kalusto	11
2.3.1	Alavaunu	12
2.3.2	Ylävaunu	13
2.3.3	Keili	13
2.3.4	Järkäle	13
2.3.5	Iskusuoja	14
2.4	Lopetuslyönnit	14
3	PDA-mittaus	16
3.1	PDA-mittausten tulokset	17
3.2	Iskuaaltokuvaajien tulkinta	17
3.2.1	Voima- ja nopeussignaaliokuvaaja	24
3.2.2	Ylös- ja alaspäin kulkeva voima	24
3.2.3	Lyöntivastuskäyrä	25
3.2.4	Energia ja siirtymä	25
3.3	Mittaustulosten tarkastelu ja johtopäätökset	26
4	Iskutyynyjen materiaalivertailu	27
4.1	Iskutyyny	27
4.2	Paalujen kestoikä	28

4.3	Iskutyynyjen kestoikä	30
4.4	Kustannukset	31
5	Erikoisolosuhteet	33
5.1	Työskentely räjähdysvaarallisilla alueilla	33
5.2	Savunmuodostuminen	33
6	Yhteenveto	35
	Lähteet	36

Lyhenteet

CASE	Kantavuuden määrittäminen menetelmä voima- ja nopeusimpedanssin avulla
CFA-menetelmä	Continuous flight auger
EMX	Paaluun siirtynyt voima
FVP	force-velocity proportionality
Hz	Hertsi, yksi hertsi tarkoittaa taajuutta, jossa värähdysjaksot toistuvat sekunnin välein.
J _c	Dynaaminen vaimennuskerroin
kNm	kiloNewtonmetri
L	Paalun pituus
LE	Anturoiden etäisyys paalun kärjessä
PDA	Piledriving analyze. Dynaaminen kuormitusmittaus, jolla määritetään paalujen kantavuuksia
PO-2011	Paalutusohje 2011
R _c	Paalun murtokuorma
RMX	Mobilisoitunut staattinen vastus (kantavuus)
t	Ajan perussuure
WS	Iskuaallon nopeus

1 Johdanto

1.1 Aiheen esittely

Tässä työssä käydään läpi paalutustyössä paalun ja järkäleen väliin iskusuojaan asennettavan iskutyynyn tai toiselta nimeltään paalupehmikkeen kahden eri materiaalin, puun ja muovi valmisteisen Nylatronin vertailua.

Paalutus on erittäin kilpailutettu pohjarakennusmenetelmä ja siinä käytettävä kalusto ja kaluston osat ovat aina vain pidemmälle kehitettyjä. Tästä riippumatta iskutyyny on säilynyt lähes muuttumattomana koko sen historiansa ajan ja nyt Junttan Oy on kehittänyt sille vaihtoehdon, jonka ominaisuuksia puuhun tässä työssä lähdetään vertailemaan.

Puisen iskutyynyn ongelmana on sen lyhyt kestoikä, eli kovassa rasituksessa se alkaa halkeilla, painua kasaan, savuttamaan ja lopulta syttyä palamaan, jonka seurauksena järkäleestä paaluun kohdistuvat voimat eivät ole tasaisia ja aiheuttavat paalujen hajoamisia sekä lisäkustannuksia.

1.2 Rajaukset ja tutkimuksen tarkoitus

Työn tarkoituksena on selvittää, onko Junttanin kehittämä Nylatron iskutyyny ominaisuuksiltaan parempi kuin puinen iskutyyny. Iskutyynyt ovat kuluvia osia paalutustyössä ja niiden tehtävänä on ottaa vastaa järkäleen aiheuttamat kuormat ja suojata paalun päätä hajoamiselta. Puiset iskutyynyt kuluvat nopeasti ja menettävät samalla paalua suojaavat ominaisuudet, jolloin riskit paalujen hajoamiselle kasvavat, joka aiheuttaa viivästyksiä ja lisäkustannuksia töihin.

Tässä insinööriyössä tutkitaan puun ja Nylatronin käyttäytymistä paalutustyössä samanlaisissa olosuhteissa eli molemmilla iskutyynyillä lyödään yhtä pitkiä paaluja samanlaisissa maaperäolosuhteissa ja tutkitaan kumpi kestää pidempään yhtämittaisessa käytössä ja kummalla paalutustyötä pystyy tekemään pidempään ennen iskutyynyn kulumista käyttökelvottomaksi. Osalle vertailussa lyödyistä paaluista

tehdään PDA-mittaukset, jolla nähdään, kummalla iskutyynyllä saadaan paremmat tulokset paalutustyössä.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Työ toteutettiin Maanrakennusliike E.M. Pekkinen Oy:n työmaalla Helsingissä Tukutorinkuja 4:ssä, haastavissa pohjarakenneolosuhteissa. Kova maaperä oli tälle opinnäytetyön tutkimukselle yksi niistä kriteereistä minkä takia työtä lähdettiin tekemään, koska haluttiin selvittää onko Nylatron-iskutyyny parempi vaihtoehto puiseen verrattuna vaikeissa työskentely olosuhteissa. Lisäksi tiukassa maaperässä paalutuskone joutuu tekemään enemmän työtä kuin pehmeissä maissa koska pehmeillä alueilla paalut usein uppoavat maahan jo pelkästään paalun omasta painosta.

Tutkimus suoritettiin Junttan PMx20 merkkisellä paalutuskoneella, joka on varustettu 350x350mm mittaisille iskutyynyille soveltuvalla paaluohjaimella sekä neljän tuhannen kilon painoisella Junttan HHK4 A -sarjan järkäleellä.

Tutkimuksessa lyötävät teräsbetonipaalut olivat maakärjellä varustettuja ja mitoiltaan 350mm x 350mm ja pituudeltaan 10-14 m pitkiä. Paalutuksesta kirjataan työnaikana paalutuspöytäkirjaan (Liite 1) jokaisen iskutyynyn iskumäärä paaluun ennen iskutyynyn vaihtoa, lyötyjen paalujen kokonaismetrimäärä sekä paalun kohdistunut keskimääräinen lyöntienergia.

Osalle lyödyistä paaluista tehdään lisäksi PDA-mittaukset, jolla nähdään, että paalut ovat kantavia. PDA-mittauksesta selviää myös paalun kohdistuneen iskuenergian suuruus sekä paalun ehjyys.

Lopuksi iskumäärien ja lyötyjen metrimäärien keskiarvon perusteella lasketaan hinta jolla Nylatron iskutyynyä pitäisi lähteä kauppaamaan asiakkaille.

2 Yleistä paalutuksesta

Paalutus on pohjarakennusmenetelmä jossa rakennusten ja rakennelmien aiheuttama kuormitus viedään pehmeiden kerrosten läpi kovaan pohjaan saakka, joko tiukkaan moreeniin tai kallioon. Tätä menetelmää käytetään kun rakennusalueen maaperä ei ole riittävän kantavaa rakentamista varten.

Paalutusta voidaan hyödyntää myös olemassa olevien perustusten korjauksessa ja vahvistamisessa sekä silloin kun rakenteen käyttötarkoitus muuttuu ja perustuksille tulee lisää kuormaa.

Paaluperustusten käyttö on yleistynyt kovaa vauhtia samalla, kun on otettu käyttöön niitä maa-alueita, joille rakentamista on aiemmin vältelty pehmeän maaperän takia. Tällaiset alueet ovat kuitenkin sijainnillisesti kiinnostavalla alueella, ja paalutus on mahdollistanut niille rakentamisen.

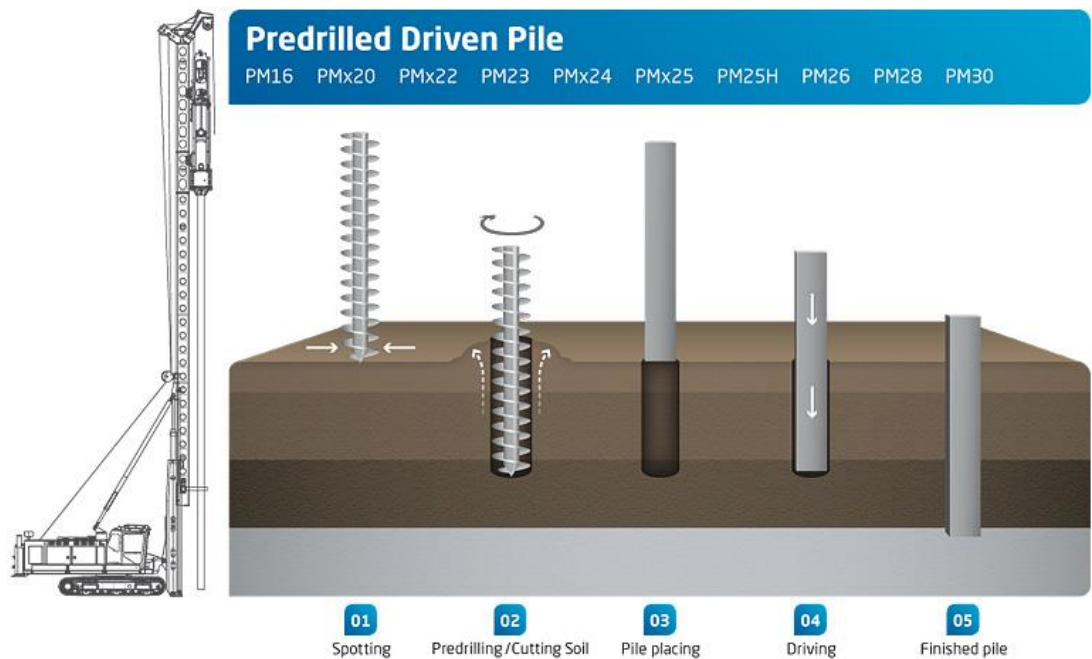
2.1 Paalutustekniikat

2.1.1 Lyöntipaalutus

Lyöntipaalutus on yleisimmin käytetty paalutusmenetelmä, jossa paalu upotetaan maahan lyömällä paalua pudotusjärkeleellä, täryttämällä tai painamalla paalu maahan. Käytettävät järkäleet voidaan jakaa mekaanisiin ja hydraulisiin järkäleisiin. Mekaaninen järkäle nostetaan vinssillä vaijerin varassa haluttuun korkeuteen ja pudotetaan paalun päähän. Hydraulisella järkäleellä järkäle nostetaan hydraulisella sylinterillä jonka jälkeen se pudotetaan joko vapaasti tai kiihdytettynä. Käytettävien järkäleiden paino vaihtelee paalukoon ja maaperäolosuhteiden mukaan, Suomessa teräsbetonisten

lyöntipaalujen asentamiseen käytetään yleensä 3-5t painoista järkälettä. Paalut upotetaan tiiviiseen maakerrokseen tai kallion pintaan asti.

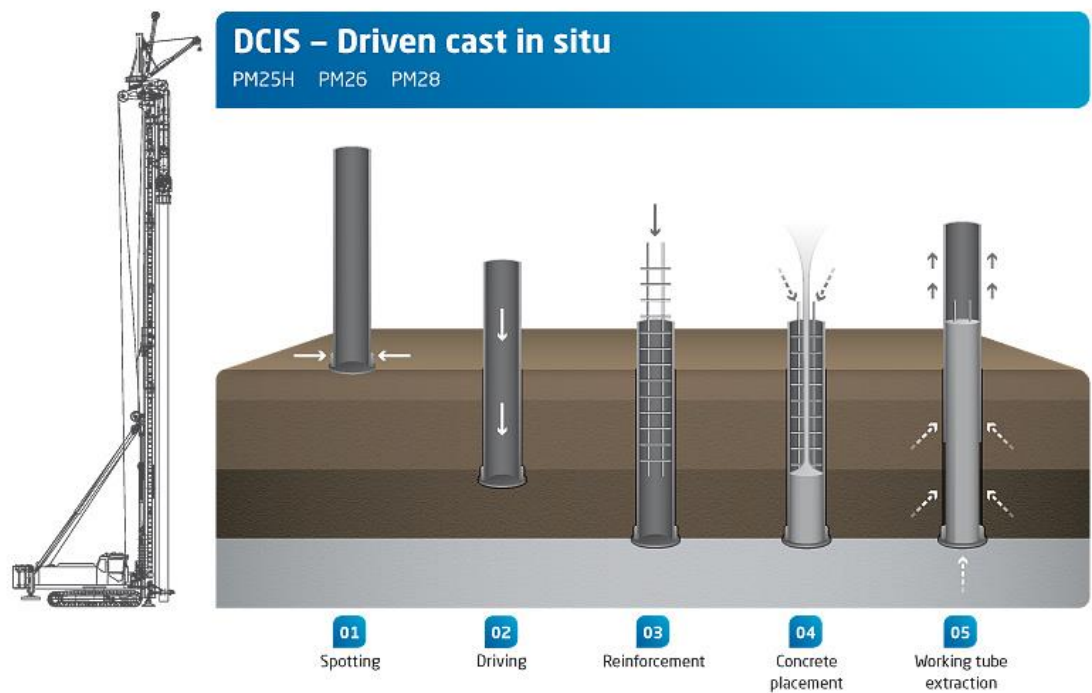
Lyöntipaalutustyöhön voidaan yhdistää myös apukairalaite, jota käytetään silloin kun maa-aines on erityisen kiinteää. Kairalla poistetaan maa-ainesta reiästä, johon paalu lopulta isketään. Tämän on tarkoitus nopeuttaa paalutusta, vähentää melua ja tärähtelyä, sekä säästää paalua mekaaniselta rasitukselta. [5.]



Kuva 1. Esikairattu lyöntipaalutus [5.]

2.1.2 Lyöntivalupaalutus

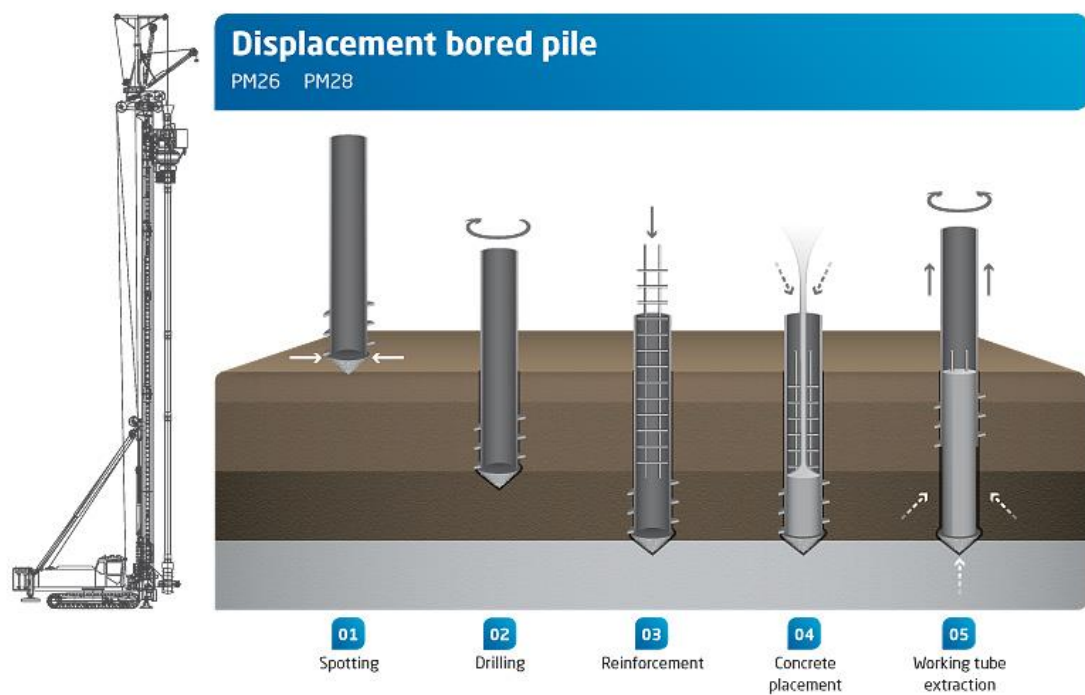
Lyöntivalupaalutuksessa maahan ei lyödä kiinteää paalua, vaan ylös vedettävä ontto työputki. Työputki asennetaan maahan lyöntipaalutuksen tapaan hydraulisella järkäleellä iskien. Kun työputki on saatu tavoitesyvyyteen, asennetaan putkeen vaadittava rauditus ja tämän jälkeen putki valetaan betonilla. Työputki vedetään ylös vastavaletusta betonista ja lopuksi tiivistetään betonimassa järkäleen naputustoiminnolla. [5; 2, s.9.]



Kuva 2. Lyöntivalupaalutus [5.]

2.1.3 Porapaalutus

Porapaalutuksessa putkea painetaan maahan pyörivällä liikkeellä. Pyöriessään työputki syrjäyttää maa-aineksen ympärilleen. Kun työputki on saatu tavoitesyvyyteen, tarvittava raudoitus asennetaan putkeen. Sitten putki valetaan betonilla. Putkea ei täytetä kerralla, kuten lyöntivalupaalutuksessa, vaan putkea nostetaan ja yhtäaikaaisesti betonimassaa lisätään siten, että kaivanto pysyy jatkuvasti täytenä. Raudoitus voidaan myös lisätä valettuun betoniin hydraulisen vibran avulla. [5.]

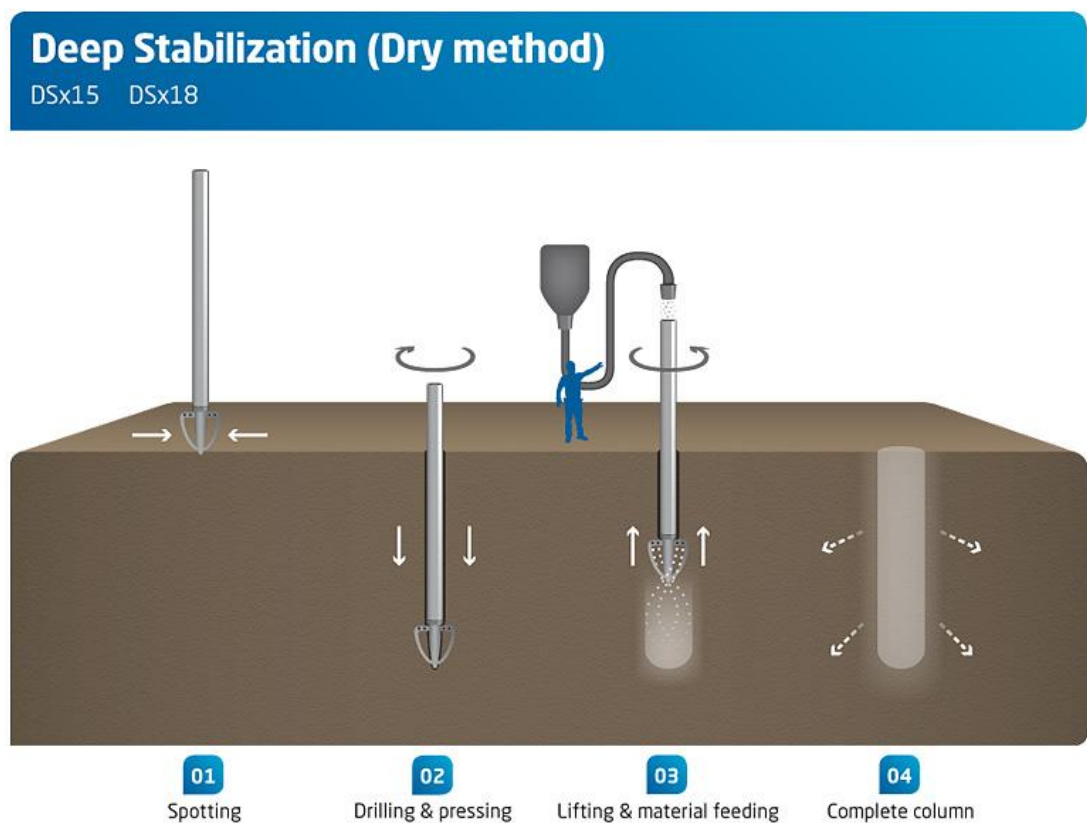


Kuva 3. Porapaalutus [5.]

2.1.4 Syvästabilointi

Syvästabiloinnissa syötetään sideainetta maaperään pehmeän maa-aineksen vahvistamiseksi. Kemiallisesti maa-aineksen kanssa reagoivaa sideainetta sekoitetaan pehmeisiin maakerroksiin. Yleisimmin kalkkia ja sementtiä sisältävällä sideaineella saadaan maapohjaa stabiloitua luomalla maanalaisia pilari tai laattamuodostelmia. [5.]

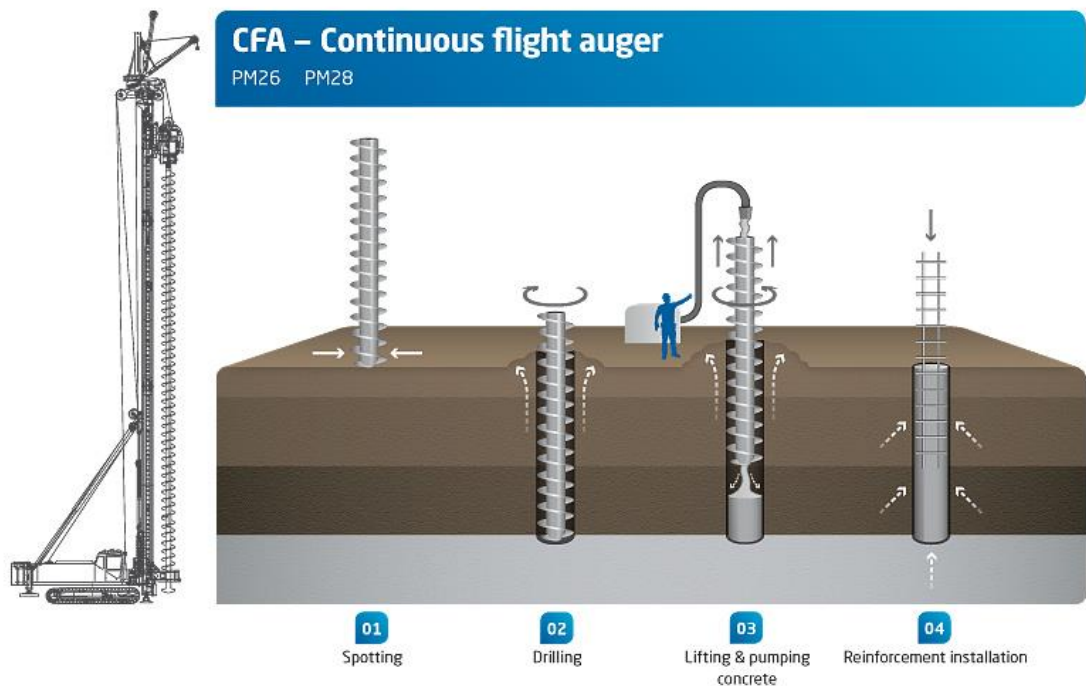
Pilarimuodostelmia saadaan aikaan painamalla stabilointikoneen sekoitin maahan haluttuun syvyyteen. Seuraavaksi pyörivää kärkeä aletaan nostaa ja samalla syötetään sideainetta maahan. Noston aikana sideaine sekoittuu maahan muodostaen pystypilarin. Pilarin halkaisija on yleensä 600-800 millimetriä. [5.]



Kuva 4. Syvästabilointi [5.]

2.1.5 CFA-menetelmä

CFA-työmenetelmässä maahan kairataan reikä. Kaira etenee maahan poistaen jatkuvasti maa-ainesta edetessään. Oikein suoritettuna maa-aines poistuu reiästä samaa tahtia kuin kairaus etenee. Kairan urat pysyvät täynnä maa-ainesta tukien reiän seinämiä, eikä reikää tarvitse tilapäisesti tukea. Kun tavoitesyvyyteen on päästy, aletaan nostaa kairaa ja samaan tahtiin johdetaan betonimassaa reikään. Lopuksi asennetaan vaadittava rauditus painamalla ne vastavalettuun betonimassaan järkäleellä sähkö- tai hydraulikäyttöisen vibraattorin avulla. [5.]

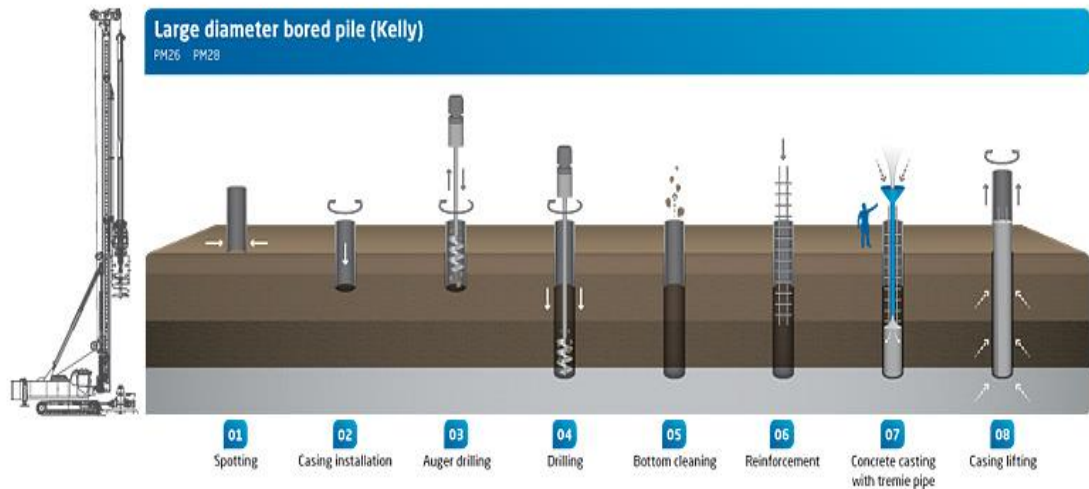


Kuva 5. CFA-menetelmä [5.]

2.1.6 Kelly-menetelmä

Kelly-menetelmässä maahan kairataan enintään 6 metriä pitkä putki, jonka päässä on maata leikkaava hammastus. Putkea jatketaan sitä mukaa, kun reikä syvenee. Kun

tavoitesyvyys on saavutettu, kairataan putken sisältä maa-aines pois. Kun putki on saatu tyhjennettyä, asennetaan putkeen rauditus ja täytetään putki betonilla. [5.]



Kuva 6. Kelly-menetelmä [5.]

2.2 Teräsbetonipaalu

Aikaisemmin paalutuksessa käytettiin puupaaluja, mutta sen rajallinen kestävyys ja lahoaminen ovat edistäneet erilaisten uusien materiaalien käyttöönottoa. Puupaalutukset ovat vähentyneet, kun rakentaminen on laskenut pohjavesipintaa ja ennen vedessä olleet paalut ovat joutuneet pinnan yläpuolelle. Puupaalutusta käytetään kuitenkin yhä, erityisesti väliaikaisten rakenteiden alla.

Yleisimmät nykyaikaiset paalutyypit ovat teräsbetonipaalut ja teräsputki-paalut. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin iskutyynyn käyttäytymistä teräsbetonipaaluja lyödessä 4t painoisella järkäleellä.

Työssä käytettävät teräsbetonipaalut on valmistettu rakennusteollisuuden tuotelehden PO-2011 laatuvaatimusohjeiden mukaisesti [Liite 2].

Betonipaaluja on saatavilla kolmea kokoa: 250*250mm, 300*300mm ja 350*350mm. Nykyisin 300 mm:n paalujen menekki on suurin. Yksittäisen paalun pituus voi olla 3-15 metriä. Jatketuissa paaluissa päästään paljon tätä suurempiin kokonaismittoihin. Paalut

varustellaan tehtaalla valmistusvaiheessa joko kallio- tai maakärjillä. Jatkopaalut varustellaan lisäksi jatkososilla (kuvat 7-9). [7, s.10.]

Paalujatkos (kuva 7) asennetaan paaluun sen valamisen yhteydessä. Jatkososat asennetaan ylä- ja alapaaluun ja jatkokset yhdistetään työmaalla toisiinsa jatkosten sivuilla oleviin aukkoihin lyötävillä lukkotapeilla.



Kuva 7. Paalujatkos [8.]

Maakärkiä (kuva 8) käytetään paalun alapäässä silloin kun maaperä ei ole kivistä eikä se tukeudu kallioon. Maakärjen tehtävä on suojata ja vahvistaa paalun päätä



Kuva 8. Maakärki [8.]

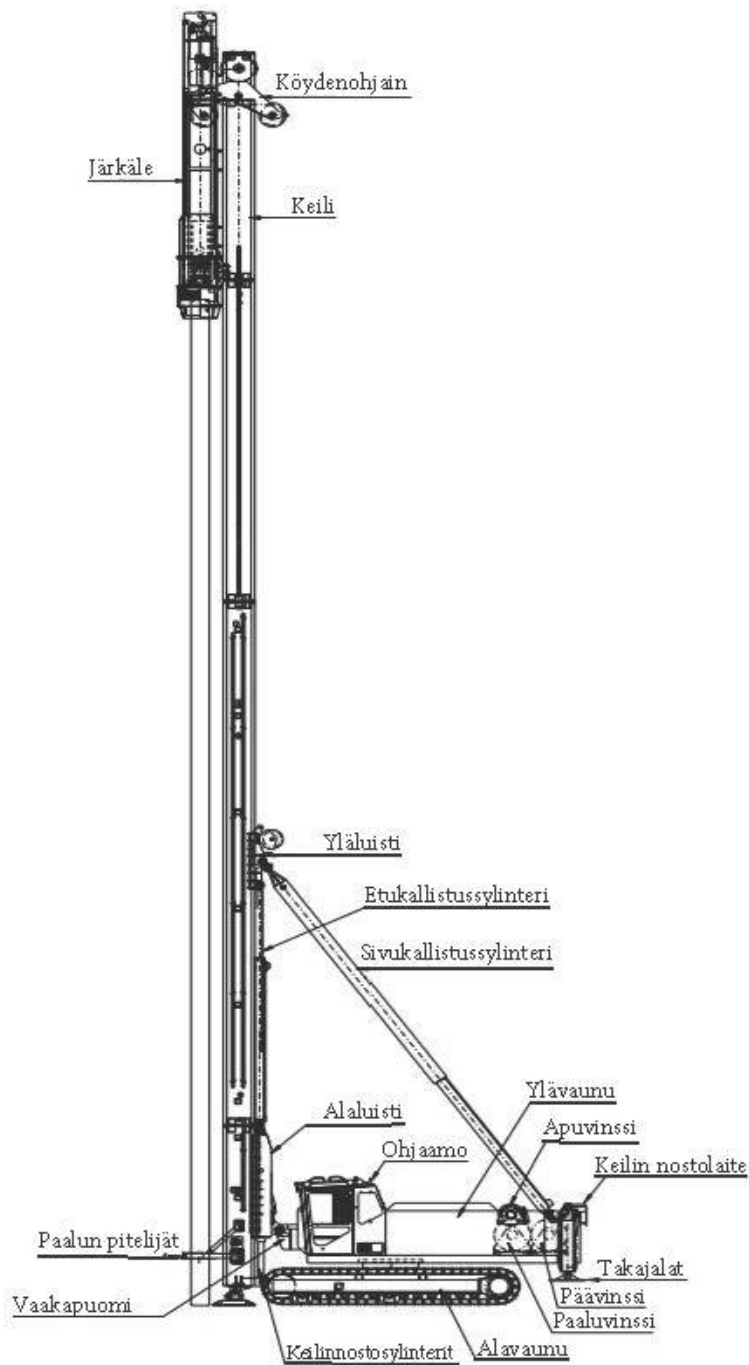
Kalliokärkiä (kuva 9) käytetään paalun pään suojana, kun paalun kärki tukeutuu kallioon tai lohkaraiseen maahan



Kuva 9. Kalliokärki [8.]

2.3 Kalusto

Työ toteutettiin Junttan PMx20 merkkisellä paalutuskoneella joka soveltuu puupaalujen, teräspaalujen sekä teräsbetonipaalujen lyömiseen. Koneessa suositellaan käytettäväksi 3-5 tonnin painoista hydraulijärkälettä. Kone koostuu monista eri osista jotka näkyvät kuvassa 10.



Kuva 10. Paalutuskone [2, s.14]

2.3.1 Alavaunu

Paalutuskoneen alavaunu koostuu runkoon asennetuista teloista, telojen levityskoneistosta sekä ajomoottorista. Alavaunussa ei ole lainkaan asennettua elektroniikka, joten kaikki sen ajoliikkeet ja telojen levitykset tapahtuvat hydrauliiikan avulla. [2.]

2.3.2 Ylävaunu

Ylävaunu on se osa paalutuskoneessa jonka ympärille kaikki muut koneen osat pääasiassa rakennetaan. Siihen asennetaan koneen toiminnan kannalta oleelliset osat, kuten keili, ohjaamo, moottori, hydrauliyksikkö ja -pumput sekä suurin osa koneen sähköistä. [2.]

Ylävaunuun asennetaan vähintään kaksi vinssiä: Päävinssi, joka liikuttaa järkälettä tai muuta keiliin kiinnitettyä laitetta sekä paaluvinssi, jolla paalu nostetaan maasta pystyyn. Lisäksi voidaan asentaa myös apuvinssi järkäleen alas vetoa varten. Järkäleen alasvedolla estetään järkälettä pomppimasta paalun päällä [2.]

2.3.3 Keili

Keili on paalutuskoneen johdepuomi johon järkäle asennetaan ja jonka luistipinnoilla järkäle liikkuu pystysuuntaisesti. Keiliin asennetaan järkäleen lisäksi vinssien vaijerit sekä niiden ohjauspyörät ja mahdolliset lisävarusteet, kuten paalunohjaimet ja sivukaira. [2.]

Keili kiinnitetään ylävaunuun vaakapuomilla, jolla keiliä pystytään kurottamaan ulommas koneesta sekä sivukallistussylintereillä, joilla mahdollistetaan keilin kallistaminen vinopaalujen lyömistä varten. Keilissä on lisäksi etukallistussylinteri, jonka avulla keili nostetaan kuljetusasennosta ylös työskentelyasentoon. [2.]

2.3.4 Järkäle

Järkäleen tehtävänä on iskeä paalua maahan ja se koostuu järkäleen rungosta, lyöntienergian tekevästä liikkuvasta osasta, iskutyynystä, sen pesästä ja juntaussylinteristä. Järkäleen liike eli juntaus syntyy kun juntaussylinterille syötetään hydraulitehoa. Tällöin sylinteri nostaa järkäleen liikkuvaa osaa ylöspäin ja kun sylinteri vapautetaan se putoaa iskutyynyn päälle, joka välittää voiman paaluun. [2.]

Järkäleen iskun pituutta, sekä iskutiheyttä voidaan niin, että lyönti voidaan suorittaa automaattisena, toistuvana lyöntisarjana tai manuaalisena kertalyöntinä. Paalutuskoneissa käytettävien järkäleiden liikkuvien osien paino vaihtelee 3-12 tonnina.

välillä, riippuen käytetystä järkäleestä. Maksiminostokorkeus liikkuvalla osalla on 1,2 metriä, jolloin lyöntienergiaksi saadaan 35-141 kNm. [2.]

Tässä tutkimustyössä oli käytössä Junttanin HHK4A hydraulinen järkäle, joka on noin 20 prosenttia tehokkaampi kuin vastaava saman painoluokan vapaasti putoava järkäle. Se painaa neljä tuhatta kiloa, sen maksimi nostokorkeus on 1,2 metriä ja sen suurin lyöntienergia on 47 kNm.

2.3.5 Iskusuoja

Iskusuojan tehtävä on kohdistaa järkäleen iskut tasaisesti lyötävään paaluun. Iskusuojoissa on metalliset tukiosat sekä lyöntejä pehmittävä iskutyyny, jotka ovat yleensä puuta tai nailonia, jota tässä työssä tutkitaan. Iskusuojan tehtävä on leikata järkäleen iskusta aiheutuvan jännityksen terävin huippu pois ja täten suojata paalua särkymiseltä. [1.]

2.4 Lopetuslyönnit

Kun paalun kärki ulottuu kantavaan maakerrokseen ja paalun painuma pienenee, lyödään loppulyönnit. Yleensä loppulyönnit sisältävät 3-5 kymmenen lyönnin sarjaa. Loppulyöntisarjojen lukumäärä määritellään olosuhteiden mukaan. Jos paalun painuminen pienenee hitaasti, lyödään useampia sarjoja, ja jos painuma pienenee nopeasti, lyödään vähemmän. [Liite 2, s.17.]

Mikäli paalun painuma kymmenen lyönnin sarjalla alittaa 10 mm, on lyönti lopetettava välittömästi paalun vaurioitumisen estämiseksi. Lyönti voidaan lopettaa tähän, jos paalu on lähellä tavoitetasoa, tai jos mikään muu erityiseseikka ei pakota jatkamaan paalun upotusta. Tällainen erityiseseikka voi olla esimerkiksi se, että paalu on kaukana tavoitetasosta tai paalun on tukeuduttava kallioon. Mikäli upotusta jatketaan, käytetään maksimissaan 0,2 m pudotuskorkeutta. [Liite 2, s.17.]

Kullekin eri paalutyypille on laadittu loppulyöntitaulukot erikseen. Taulukoissa on ilmoitettu eripituisten paalujen painaumamat millimetreinä kymmenen loppulyönnin sarjalle. Tulokset on ryhmitelty paalutustyöluokan ja tarvittavan pudotuskorkeuden/lyöntienergian mukaan. [Liite 2, s.18-20.]

Esimerkiksi liitteestä 2 nähdään, että kun lyödään PTL2:ssa 30 m pitkää TB350A paalua 4 tn kiihdytetyllä hydraulijärkäleellä ja pudotuskorkeudella 0,55 m, niin paalu saavuttaa suunnitellun kestävyuden, jos 10 lyönnin sarjan aikana paalu uppoaa 16 mm tai vähemmän.

3 PDA-mittaus

PDA-mittauksella tarkoitetaan dynaamista koekuormitusta, jolla mitataan paalun geoteknistä murtokestävyyttä. Se on käytetyin paalujen mittaus menetelmä maailmassa. PDA-mittauksella voidaan myös tutkia paalun ehjyyttä, paaluun siirtynyttä energiaa, kohdistuvia lyöntijännityksiä sekä niiden kantavuutta. Mittaus ei kohdistu pelkästään paaluun, vaan lisäksi voidaan tutkia paalutuskaluston toimintaa ja tehokuutta [6, s.24.]

Paaluun kiinnitetään kiihtyvyyssantureita sekä venyvyysantureita, joilla mitataan paaluun aiheutuvaa iskuaaltoa. Anturit kiinnitetään paalun vastakkaisille puolille pulteilla. Anturit täytyy kiinnittää lujasti ja huolellisesti kiinni paalun pituuden suuntaisesti, jotta mittaustulos on luotettava [6, s.24.]

Kuvassa 16 on esitetty paaluun kiinnitettävät mittausanturit. Mittausanturit on kytketty kaapeleilla kiinni mittaustietokoneeseen, johon mittauksen tiedot tallentuvat.



Kuva 16. Paalun PDA-mittaus

3.1 PDA-mittausten tulokset

PDA-mittaus suoritettiin Helsingissä, Business Park Rantatien laajennustyömaalla yhteensä kuudelle paalulle, joista neljä lyötiin puisella iskutyynyllä ja kaksi Nylatronilla. Mittaukset tehtiin paalujen toimivuuden varmistamiseksi sekä samalla tutkittiin puisen ja Nylatron iskutyynyn eroja. Mittauksessa käytettiin kahta venymäanturia, kahta kiihtyvyyssanturia ja tulokset mitattiin käyttäen Pile Driving Analyzer®-Model PAX -laitteistoa.

Tuloksena jokaisesta paalusta on saatu iskuaaltovoimakuvaajat, joiden tuloksista nähdään onko paalu ehjä ja kantava.

3.2 Iskuaaltokuvaajien tulkinta

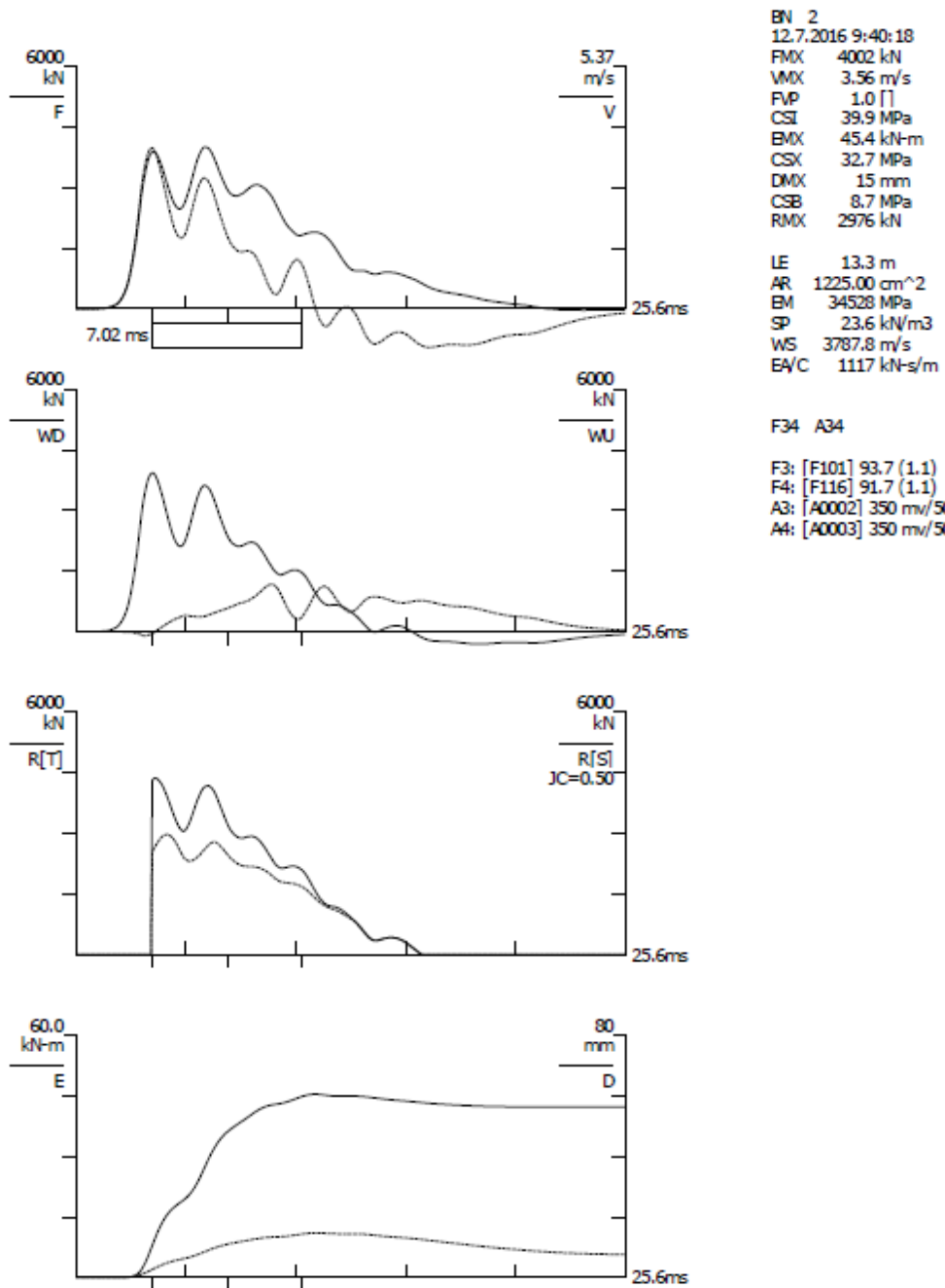
Tässä luvussa käsitellään kuvien 11-16 iskuaaltokuvaajien tulokset sekä käydään läpi mitkä tekijät voivat vaikuttaa heikentävästi kuvaajien tarkasteluun ja laatuun.

Kuvaajien merkitykset ylhäältä alaspäin:

1. Voimakäyrä F ja nopeuskäyrä V
2. Iskuaaltokäyrä alas WD ja ylös WU
3. Lyöntivastuskäyrä R vaimennuskertoimella $J_c=0,5$
4. Paaluun siirtyvä energia E ja paalun yläpään siirtymä D.

FCG
BUSINESPARK 12072016
PDA OP: TAUBERT

PILE DRIVING ANALYZER @
Version 2010.101.005
618
EM.PEKKINEN/KANTOLA



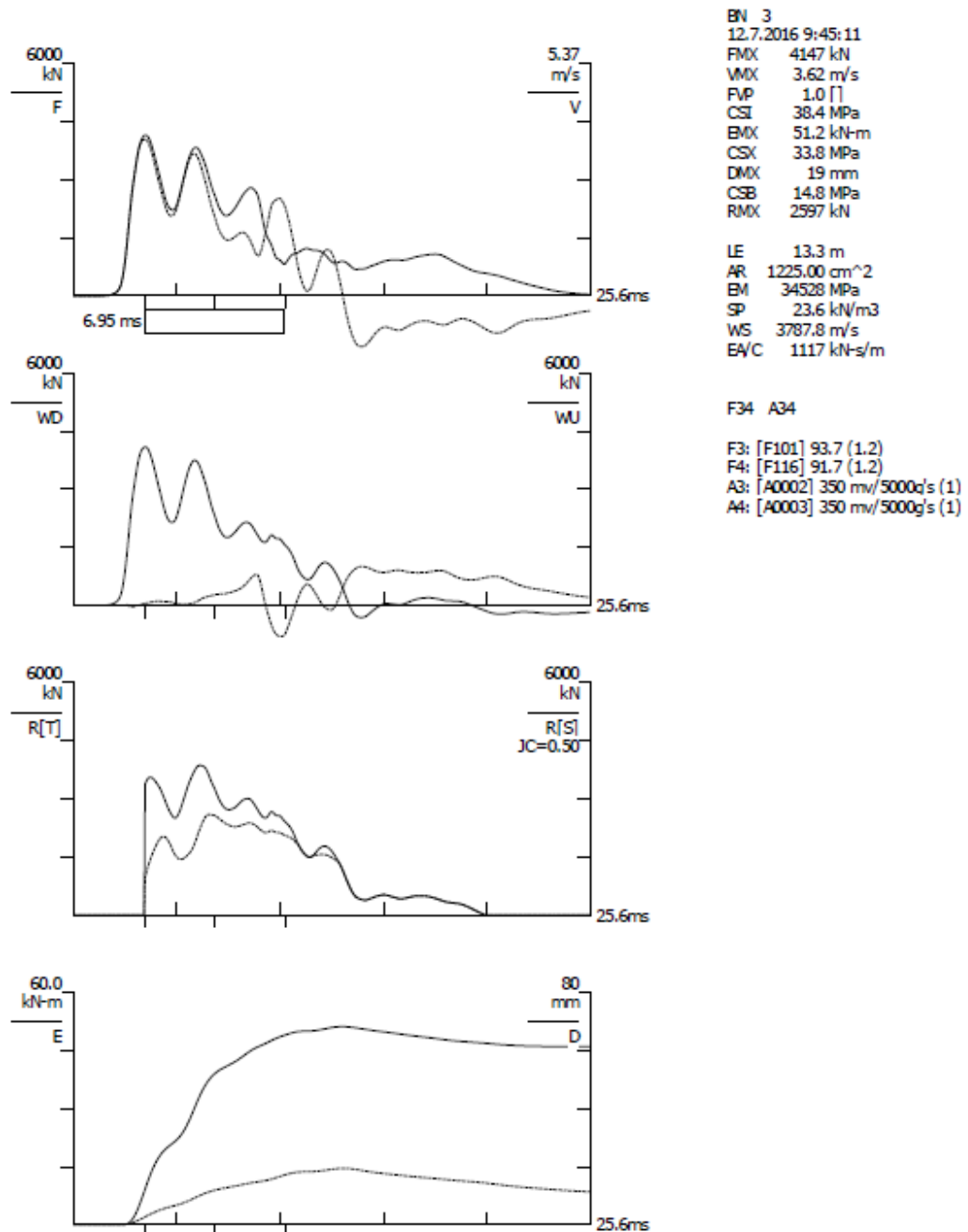
Kuva 17. Paalun 618 kuvaajat [3.]

FCG

BUSINESSPARK 12072016
PDA OP: TAUBERT

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2010.101.005
620

EM.PEKKINEN/KANTOLA

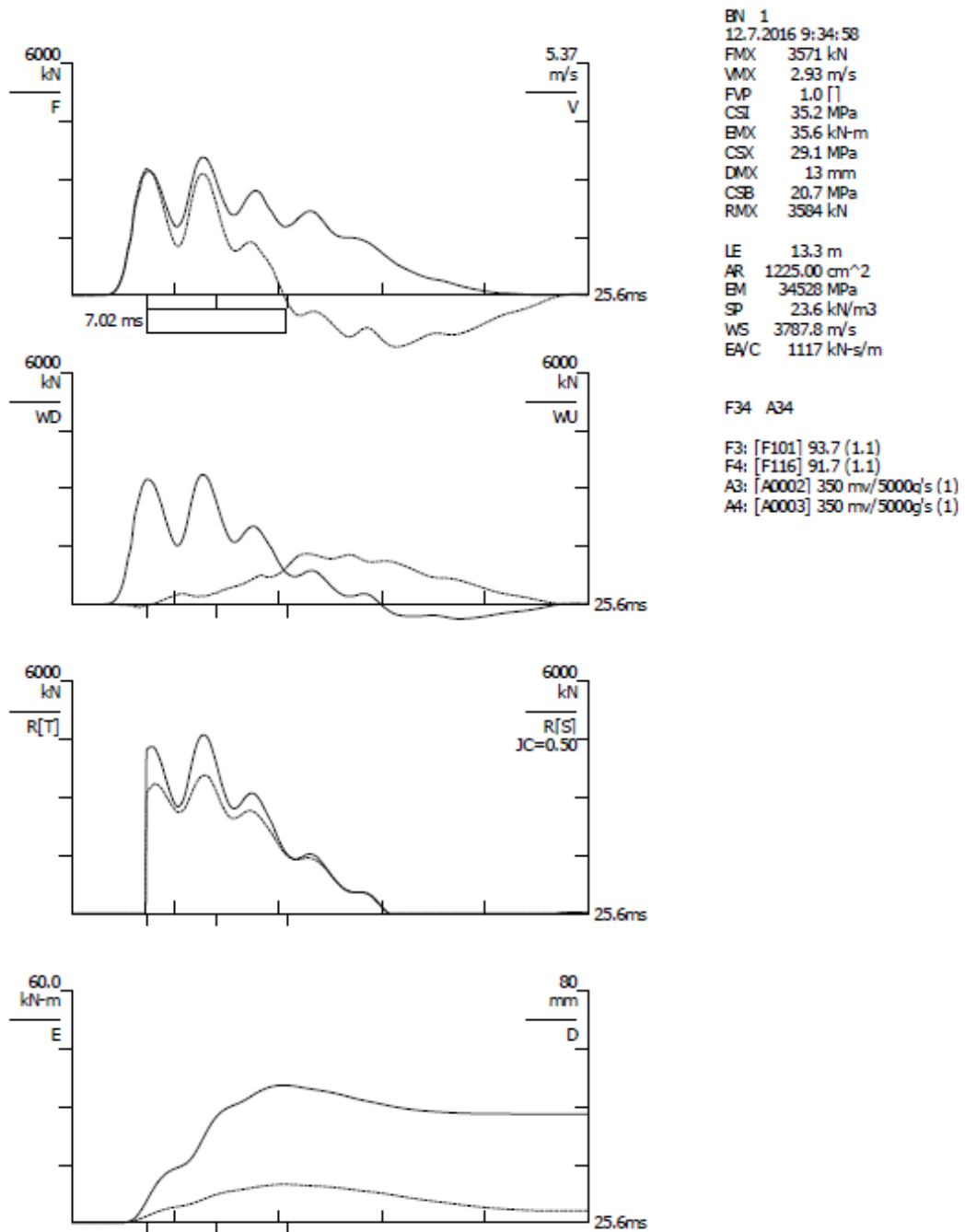


Kuva 18. Paalun 620 kuvaajat [3.]

FCG
BUSINESSPARK 12072016
POA OP: TAUBERT

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2010.101.005
627

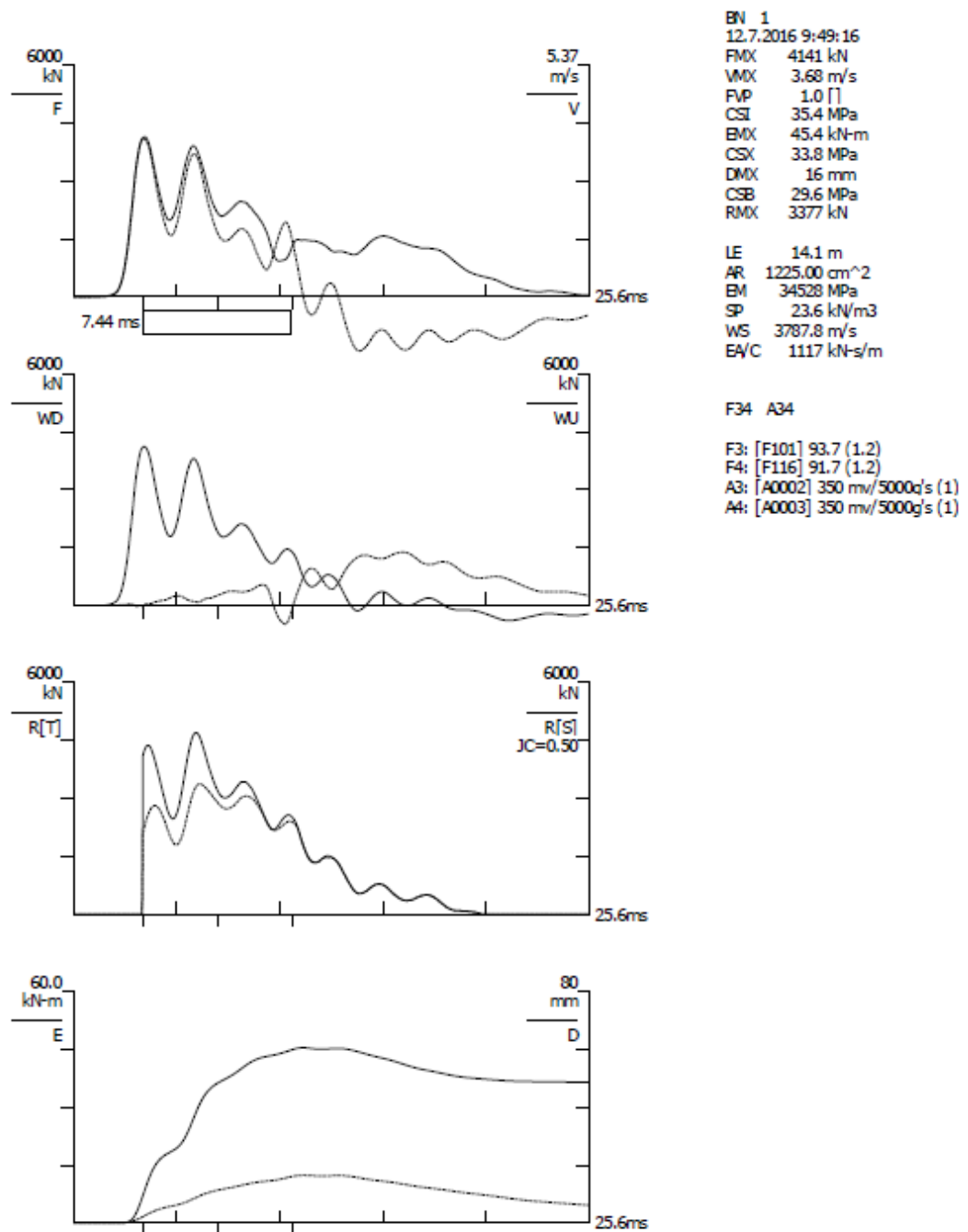
EM.PEKKINEN/KANTOLA



Kuva 19. Paalun 627 kuvaajat [3.]

FCG
BUSINESPARK 12072016
PDA OP: TAUBERT

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2010.101.005
634
EM. PEKKINEN/KANTOLA

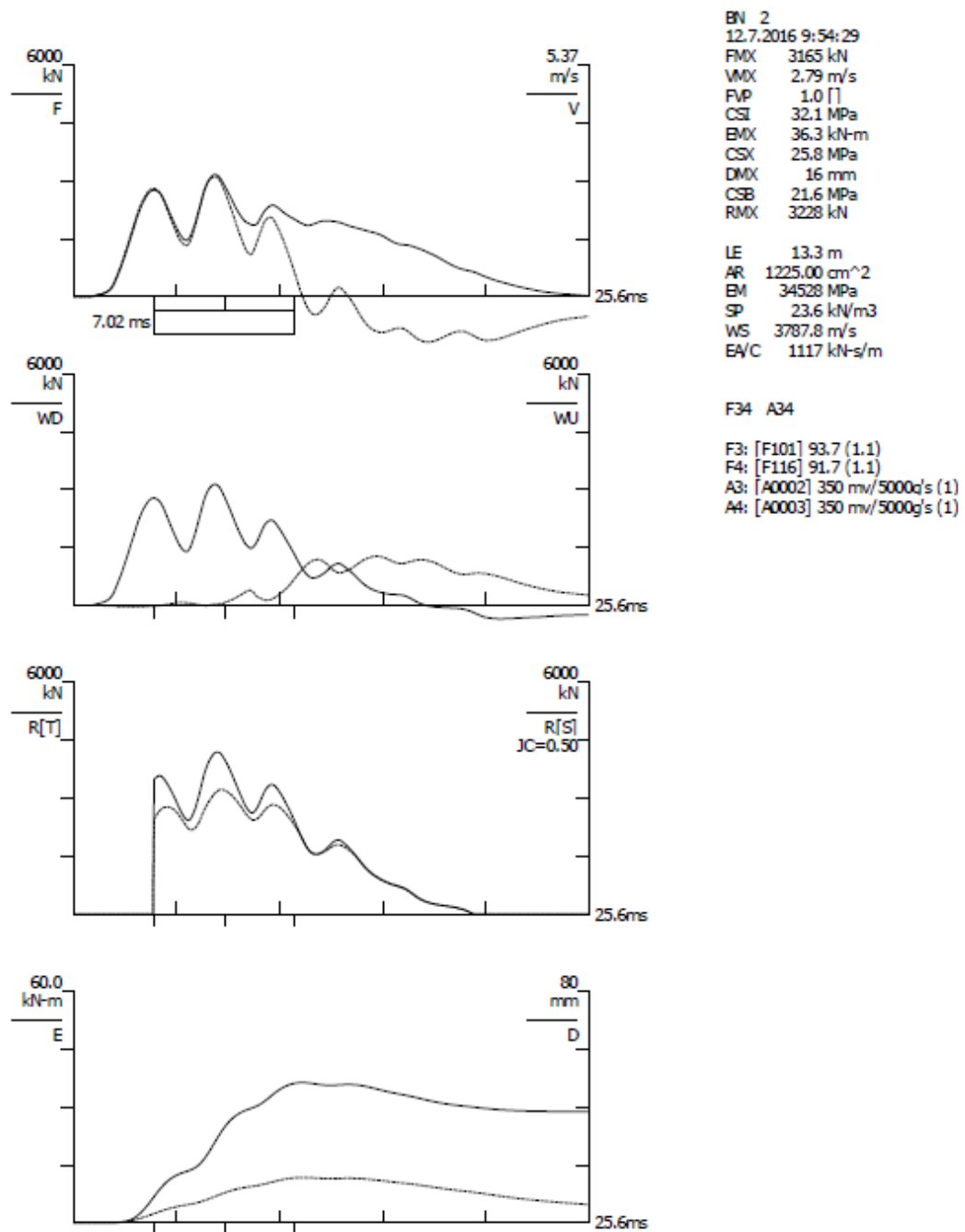


Kuva 20. Paalun 634 kuvaajat [3.]

FCG
BUSINESPARK 12072016
POA OP: TAUBERT

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2010.101.005
635

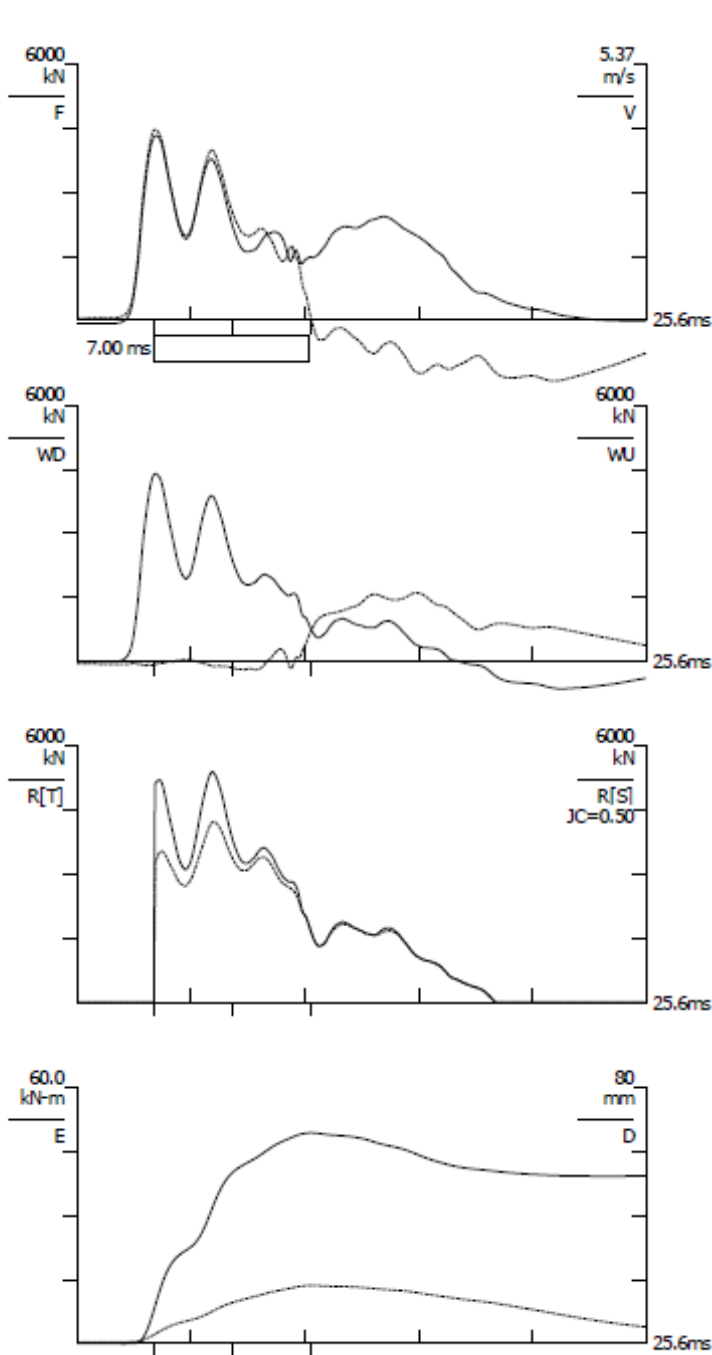
EM.PEKKINEN/KANTOLA



Kuva 21. Paalun 635 kuvaajat [3.]

FCG
 BUSINESPARK 12072016
 POA OP: TAUBERT

PILE DRIVING ANALYZER ©
 Version 2010.101.005
 1024
 EM.PEKKINEN/KANTOLA



BN 1
 12.7.2016 9:31:30
 FMX 4334 kN
 VMX 4.01 m/s
 FVP 1.0 []
 CSI 41.4 MPa
 BMX 49.4 kN-m
 CSX 35.4 MPa
 DMX 18 mm
 CSB 35.6 MPa
 RMX 4236 kN

 LE 13.4 m
 AR 1225.00 cm²
 EM 34528 MPa
 SP 23.6 kN/m³
 WS 3787.8 m/s
 EA/C 1117 kN-s/m

F34 A34

F3: [F101] 93.7 (1.2)
 F4: [F116] 91.7 (1.2)
 A3: [A0002] 350 mv/5000g/s (1)
 A4: [A0003] 350 mv/5000g/s (1)

Kuva 22. Paalun 1024 kuvaajat [3.]

3.2.1 Voima- ja nopeussignaalkuvaaja

Voiman ja nopeuden yhdenmittaisuuden suhdetta ajanhetkellä (t) kuvataan fvp-arvolla. Kaikissa kuvaajissa fvp saa arvon 1, koska voima ja nopeus ovat yhtä suuret ajanhetkellä (t). Aina täydellistä voiman ja nopeuden yhdenmittaisuutta ei saavuteta. Pienet poikkeamat yhdenmittaisuuksissa eivät kuitenkaan tarkoita että mittaus olisi mennyt pieleen. Tyypillisesti 0,9-1,1 fvp-arvo on vielä hyväksyttävissä. [4, s.27]

Kuvaajan yhdenmittaisuutta voi heikentää:

1. Epäkeskeinen koekuormitusisku, jolloin iskun kuormitus painottuu lähinnä toiselle paalun sivuista.
2. PDA-mittaus anturit eivät ole kiinnitetty täysin samalla tasolle.
3. Anturit on kiinnitetty liian lähelle paalujatkosta tai maanpintaa.
4. Hiushalkeamat anturien kohdilla. [4, s.28.]

3.2.2 Ylös- ja alaspäin kulkeva voima

Toinen kuvaaja mittaa iskuaallon kokonaisvoimaa ja -nopeutta. Iskuaalto etenee mittausanturilta paalun kärkeen ja takaisin ajassa $2LE/WS$. Alaspäin kulkeva voima (WD) on riippuvainen lyöntilaitteesta ja sen synnyttämästä koekuormituslyönnistä, ylöspäin kulkeva voima (WU) muodostuu paalun ja maan vuorovaikutuksesta. [4, s.29.]

Iskuaaltoa tulkitsemalla voidaan havaita mahdolliset vauriot paalussa ja onko paalun pää tukeutunut pehmeään tai kovaan maakerrokseen. Pehmeissä kerroksissa paalun kärjen alla oleva vastus on lähes olematon jolloin nopeus paalun kärjessä kasvaa ja voima laskee lähelle nollaa kuten paalun 627 kuvaajassa kuvassa 19. Kovaan maahan tukeutuessaan paalun kärki ei pääse painumaan jolloin puristusvoima kärjessä kasvaa ja nopeus laskee. [4, s.32-33.]

3.2.3 Lyöntivastuskäyrä

Kolmas kuvaaja näyttää paalun staattisen vastuksen sekä kertoo sen kantavuuden. Kantavuus on arvioitu käyttäen CASE-menetelmällä RMX-estimaattia ja vaimennuskerrointa $J_c=0,5$.

CASE-menetelmä on yleisin paalun geoteknisen kestävyuden määrittämiseen käytettävä menetelmä. CASE-menetelmän vaimennuskerroin J_c määritetään paalun kärjen tasolla olevan maalajin mukaan. Suomessa käytetään kokemukseräisesti saatua vaimennuskertoimen arvoa $\geq 0,5$. [4, s.15-17.]

3.2.4 Energia ja siirtymä

Viimeinen kuvaajassa on esitetty paalun siirtyneen voiman energia (E) ja paalun siirtymä (D). Järkäleen lyöntienergia on riippuvainen sen massasta ja loppunopeudesta, jolla se iskeytyy iskutyynyyn. Parhaiten paaluun siirtyvää energiaa pystytään arvioimaan alla olevan kaavan mukaan määrittämällä paaluun kohdistuva työ W, jonka voima F tekee liikuttamalla paalun yläpäätä siirtymän D verran. Paalun siirtymä D saadaan laskettua edelleen kertomalla nopeus v ajalla t. [4, s.29-30.]

$$E = W = F \times D = F \times v \times t$$

Paaluun siirtymä energia lasketaan koko mittaushetken ajalta alla olevan yhtälön tapaan.

$$E = \int F \times v \times dt$$

Kuvaajista nähdään että paaluihin on siirtynyt energiaa EMX verran, joka saa paalun yläpäähän siirtymään DMX verran alaspäin. Kuvaajista voidaan päätellä että paalu tukeutuu tiukkaa moreeniin tai kallioon kun siirtymää kuvaava viiva palaa takaisin lähelle nolaa eli paalu nousee lyönnin jälkeen takaisin lähelle alkuperäistä korkoa. Pehmeissä maissa siirtymää kuvaava viiva jatkaisi jyrkästi nousua eikä palaisi takaisin alas. [4, s.31.]

3.3 Mittaustulosten tarkastelu ja johtopäätökset

PDA-mittausten tulokset on esitettyinä taulukossa 1. Pienimmän mitatun kantavuuden (2597kN) ja suurimman mitatun kantavuuden (4236kN) perusteella voidaan päätellä että kaikki paalut ovat ehjiä ja kantavia. Lisäksi kun tuloksia tarkastellaan, niin huomataan että kaksi suurinta kantavuutta on tullut Nylatron iskutyynyllä lyödyille paaluille.

Taulukko 1. Mittaustulokset paaluista

Paalu nro.	L (m)	Le (m)	EMX (kNm)	RMX (kN)	HUOM.
618	14	13,3	45,4	2976	Puu
620	14	13,3	51,2	2597	Puu
627	14	13,3	35,6	3584	Nylatron
634	15	14,1	45,4	3377	Puu
635	14	13,3	36,3	3228	Puu
1024	14	13,4	49,4	4236	Nylatron

4 Iskutyynyjen materiaaliveerailu

4.1 Iskutyyny

Iskutyyny on paalun ja järkäleen väliin asennettava pehmike jonka tarkoituksena on:

- Jakaa järkäleen iskusta aiheutuneet kuormat tasaisesti paalun päähän
- poistaa paalun pään epätasaisuuksien aiheuttamia kuormitus keskittymiä
- vaimentaa järkäleen iskua siten että murto- ja nurjahduskuormat eivät ylitä
- Pitkittää iskuaikaa, joka vaikuttaa paalun painautumiseen maahan.

Työssä tutkittiin kahden erilaisen iskutyynyn eroja, puisen ja nailonista valmistetun Nylatron RIM 3000:n. Puinen iskusuoja valmistetaan joko koivusta tai pyökistä, tässä tapauksessa pyökistä ja sen paksuus on noin 100mm. Paksuus on kuitenkin viitteellinen sillä lyötäessä puun syyt painuvat kokoon ja iskusuojan paksuus pienenee. Nylatron RIM 3000 iskusuojan valmistustietoja ei ole saatavilla. Alla kuvat iskutyynyistä.



Kuva 11. Käyttämätön Nylatron-iskutyyny.



Kuva 12. Käyttämätön puinen iskyyny

4.2 Paalujen kestoikä

Paalut on suunniteltaessa mitoitettu kestämään 100 vuotta ja paalutustyön ollessa käynnissä on erittäin tärkeää etteivät paalut pääse halkeilemaan liian suuren järkäleen, pudotuskorkeuden tai heikon iskyynyn takia. Jos paalu hajoaa lyöntivaiheessa, niin korjaavana toimenpiteenä on uuden paalun tai paalujen lyöminen hajonneen paalun vierelle siten että niiden kantavuus säilyy samana kuin on suunniteltu.

Muovisella iskyynyllä paalujen päät halkeilivat työn alussa, mutta käytön aikana tyyny lämpenee ja sitä myöten pehmenee hieman jolloin paalut kestivät täysin sen käytön, vasta lopussa kun tyyny oli kulunut n. kahden senttimetrin paksuiseksi, alkoivat paalut taas halkeilla.



Kuva 13. Haljennut paalun pää

Puulla lyödessä paalut kestävät paremmin ehjinä, mutta tyynyn hiiltyessä sen kimmoisuus ominaisuudet katoavat ja paalujen päät alkavat halkeilemaan samalla tavalla kuin kuluneella Nylatronilla lyödessä.

Paalujen päiden halkeilu ei johda korvaaviin paaluihin, koska paalujen päät jäävät yleensä korkeammalle mitä suunnitelmissa on määritelty, jolloin niiden päät katkaistaan oikeasta korosta täsmäämään suunnitelmissa annettuja katkaisutasoja.

Hajonneesta paalusta tehdään aina ennen korvaavan paalun lyömistä ilmoitus päätoteuttajalle sekä suunnittelijalle, joka määrää korvaavien paalujen paikat. Tässä työssä iskutyynyjä testatessa ei yksikään paalu vaurioitunut yläpäiden murtumia lukuun ottamatta niin pahasti että olisi jouduttu korvaamaan lyötyjä paaluja.

4.3 Iskutyynyjen kestoikä

Iskutyynyjen kestoikään vaikuttavat monet asiat, kuten: Maaperän tiiveys, järkäleen paino ja pudotuskorkeus, paaluun kohdistuvien iskujen kokonaismäärä sekä työn aikana aiheutuneet keskeytykset jolloin tyyny pääsee jäähtymään.

Mitä pidempi iskutyynyn käyttöikä on, niin sitä tuottavampaa työ on, koska ei tule ylimääräisiä vaihtojasta johtuvia taukoja eivätkä paalut hajoa huonon iskutyynyn suojauksen takia.

Tässä työssä testattiin kolmea Nylatron-iskutyynyä, jotka kestivät 15000, 16000 ja 19000 iskua ennen kuin se piti vaihtaa uuteen. Kaikki muut työmaan paalut lyötiin puisella iskutyynyllä ja ne kestivät keskimäärin 6000-7000 iskua. Kuvassa 14 näkyy, miltä Nylatron-iskutyyny näyttää yhden maahan lyödyn paalun jälkeen ja kuvassa 15, miltä se näyttää loppuun käytettynä. Puisesta iskutyynystä ei ole vastaavia kuvia, koska sen irrottaminen iskusuojasta kesken työn ehjänä huomattiin olevan lähes mahdotonta. Nylatron taas lähti ongelmitta irti rautakangen avustuksella.



Kuva 14. Nylatron-iskutyyny ensimmäisen maahan lyödyn paalun jälkeen.



Kuva 15. Loppuun käytetty Nylatron-iskutyyny

Iskutyynyn kestoikää voi mitata parillakin eritavalla, kuten paaluun kohdistuvien iskujen määrällä tai lyötyjen paalumetriä määrällä. Tässä työssä on tutkittu molempia menetelmiä ja tulokset on merkattu paalutuspöytäkirjaan (Liite 1).

4.4 Kustannukset

Työn yhtenä tavoitteena on näiden edellä käytyjen tutkimusten perusteella selvittää hinta, jolla Nylatron-iskutyynyä pitäisi kaupata asiakkaille, jotta sen lopulliset käyttökustannukset eivät olisi suuremmat kuin puisen iskutyynyn. Lähtötietoina tiedetään että puinen iskutyyny maksaa n.10 euroa kappale ja että työssä käytetyt Nylatron-iskutyynyjen testikappaleet olivat n. 200 euron hintaiset.

Lopullinen hinta Nylatronille pyritään määrittämään lyötyjen paalumetriä sekä iskutyynyn kohdistuneiden iskumäärien mukaan. Lisäksi hinnassa voidaan ottaa huomioon että Nylatronin valmistusprosessi on paljon monimutkaisempi kuin puisen ja sen käyttö paalutustyössä on paljon ympäristöystävällisempää pienempien savu- ja hajuhaittojen myötä. Pitäisi siis selvittää olisivatko asiakkaat valmiita maksamaan paremmista käyttöominaisuuksista lisähintaa. Taulukossa 3 on määritelty hintoja testituloksien perusteella.

Taulukko 3.

Materiaali	Lyödyt paalumetrit (keskiarvo)	Iskumäärä (Keskiarvo)	Keskimääräinen lyöntienergia
Nylatron	139 metriä	16667	42,5kNm
Puu	58 metriä	7000	44,575kNm

Taulukon mukaan jos Nylatron iskutyynyn hinta määritellään, niin nylatronilla lyötyjen paalujen metrimäärä on 239,7% suurempi kuin puun ja hinta sen perusteella 23,97 euroa. Iskumääriä taas kun vertaillaan niin Nylatroniin kohdistuneiden iskumäärä on 238,1% suurempi kuin puulla ja hinta sen mukaan tulisi olla 23,81 €. Lopullinen asiakkaan hinta tulisi siis olla näiden kahden hinnan väliltä tai sitten vielä korkeampi jos Nylatron-iskutyynyä lähdetään kauppaamaan ns. käyttöystävällisempänä tuotteena, jolloin hinnassa on huomioitu pienemmät savu- ja haittapäästöt sekä iskutyynyn pidempi kestoikä jolloin sen vaihtoväli pienenee ja vaihtoajasta aiheutuvat kustannukset pienenevät.

5 Erikoisolosuhteet

5.1 Työskentely räjähdysvaarallisilla alueilla

Räjähdysvaarallisella alueella tarkoitetaan huonetta, sen osaa tai muuta rajoitettua sisä- tai ulkotilaa, jossa räjähdysvaaran voi aiheuttaa ilmaan sekoittunut palava kaasu, palavan nesteen höyry tai sumu, palava pöly tai varsinainen räjähdysaine. Räjähdysvaarallisia ex-tiloja voi työympäristönä olla, mm. kaasu- ja öljykentät.

Paalutettaessa räjähdysvaarallisilla alueilla räjähdysriski syntyy, kun puinen iskusuoja lämpenee järkäleestä aiheutuneiden voimien johdosta ja lopulta syttyy tuleen. Syttymisriskinsä takia puinen iskusuoja on korvattu muovisella työskenneltäessä räjähdysvaarallisilla alueilla.

5.2 Savunmuodostuminen

Paalutuksessa järkäleen aiheuttama energia ja paaluun kohdistuvat toistuvat lyönnit synnyttävät suuren määrän lämpöä, joka kuumentaa iskusuojassa olevaa iskutyynyä aiheuttaen sen, että se saattaa syttyä puun tapauksessa palamaan ja muovin tapauksessa sulamaan. Palaminen synnyttää savua joka sisältää häkää ym. myrkyllisiä kaasuja, jotka ovat hengitettynä hengenvaarallisia.

Haastatteluissa ja tutkimuksissa tuli ilmi, että puu palaessaan synnyttää kitkerän hajuista savua joka aiheuttaa sen ettei työskentely lähialueilla ole turvallista. Nylatron taas ei savuttanut lähes ollenkaan vaan mureni pieniksi palasiksi. Vähäisempi savun määrä ei silti tarkoita että työskentely lähialueilla olisi turvallisempaa. Hengitettynä kaikki savukaasut ovat vaarallisia, olivat ne sitten puusta tai muovista lähtöisin.

Kuvissa 23 ja 24 näkyy miten puinen ja Nylatron-iskutyyny savuttavat kesken paalutustyön. Lyönnin loputtua puinen iskutyyny tipahtaa hiiltyneenä pois iskusuojasta ja joissain tapauksissa syttyy myöskin tuleen. Nylatron ei syttynyt tuleen.



Kuva 23. Puinen iskutyyny palaa



Kuva 24. Nylatron-iskutyyny käytössä

6 Yhteenveto

Tämän työn yhteenvetona voidaan todeta, että Nylatron-iskutyyny soveltuu paremmin paalutustyön suorittamiseen kuin puu. Sen pidempi kestoikä takaa tärkeimpänä sen että ylimääräiset iskutyynyn vaihtoajasta johtuvat kustannukset laskevat ja sen käytön aikana aiheutuva savunmäärä on niin paljon alhaisempi puuhun verrattuna että työskentelymukavuus muilla alueella työskentelevillä on turvallisempaa, kun ei tarvitse hengittää myrkyllisiä savukaasuja. Lisäksi työmaa-alueen lähetyvillä asuville aiheutuvat haitat laskevat kun jatkuvan metelin ja muiden työmaista aiheutuvien haittojen lisäksi savun määrä on lähelle olematonta.

Jatkokehitysideana työstä olisi selvittää tarkemmin useammilla iskutyynyillä kuin mitä tässä työssä testattiin jotta saadaan tarkempi tulos siitä kuinka paljon kannattavampaa Nylatronin käyttäminen on kuin puun. Testi tulisi tehdä kymmenillä, ellei jopa sadoilla iskutyynyillä ja paaluilla. Testit tulisi tehdä pehmeillä ja kovilla maaperillä jolloin saataisiin tarkemmat tulokset Nylatronin paremmuudesta kaikissa maaperäolosuhteissa.

Lisäksi voisi selvittää, voisiko Nylatronin kustannushinnat saada jotenkin tippumaan alhaisemmaksi, jotta paalutusurakoitsijat olisivat halukkaampia ottamaan sen käyttöönsä. Tällä hetkellä iskusuojien hintaerot ovat niin suuret, etteivät urakoitsijat ole halukkaita käyttämään sitä.

Jatkettavia paaluja tässä työssä ei ollut yhtään kappaletta, mutta niitä lyödessä tulisi selvittää, miten Nylatron-iskutyyny ja paalun pää kestävät, jos paalujatkoksessa olevat urospäät eivät uppoa iskutyynyyn samalla tavalla kuin puiseen iskutyynyyn. Oma kehitysideani olisi, että kehitetään erikseen jatkopaaluille oma iskutyyny, johon olisi valmistusvaiheessa tehty paalujatkoksen urospäille sopivat reiät, jolloin paaluun kohdistuvat voimat olisivat tasaiset koko paalun lyönnin ajan.

Lähteet

1. Unkila, Henri. 2013. Paalutusohje 2011:n mukainen kohdekohtainen paalutustyö. Insinööriyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu.
2. Hiltunen, Jarmo. 2015. Paalutuskoneen testausohjeistuksen laatiminen. Insinööriyö. Savonia Ammattikorkeakoulu.
3. PDA-mittausraportti.
4. Paalujen dynaaminen koekuormitus ja ehjyysmittaus. 2016. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2016-31_paalujen_dynaaminen_web.pdf>. Luettu 31.1.2017.
5. Paalutustekniikat. 2017. Verkkodokumentti. Junttan Oy. <www.junttan.com/fi/paalutusasiantuntija/paalutustekniikat/>. Luettu 27.1.2017.
6. Nurmiraanta, Mia. 2010. Esijännitetyn betonipaalun lyöntikokeet. Insinööriyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu.
7. Harjula, Jani. 2008. Teräsbetonisten lyöntipaalujen valmistus ja lyöntipaalaus. Insinööriyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu.
8. Paalun varusteet. 2016. Verkkodokumentti. Emeca Oy. <<http://emeca.fi/tuotteet>>. Luettu 10.9.2016.

Liite 2. Tuotelehti PO-211 mukaiseen paalutustyöhön





Tämä tuotelehti korvaa Rakennusteollisuuden aiemmin julkaisemat teräsbetonipaaluja koskevat tuotelehdet liitteineen.

Tämän tuotelehden mukaisia paaluja ovat oikeutettuja valmistamaan RT:n Betoniteollisuuden paalujaoksen jäsenyritykset, joilta saat myös tarvittavan tausta-aineiston:

HTM (Helsingin Tukkuymyynti Oy)
Kokemäen Tb-Paalu Oy
Lujabetoni Oy
Parma Oy
Rudus Betonituote Oy

Emeca Oy
Leimet Oy

Lisäksi työhön ovat osallistuneet:

Pete-Jukka Rinteelä, PJ Graphics Oy (kannet)
Teemu Riihimäki, Tampereen teknillinen yliopisto (WEAP analyysi)
Antti Laitakari, Finnmap Consulting Oy (suunnittelu)

Julkaisija: Rakennusteollisuus RT
Betoniteollisuus ry

Copyright: Rakennusteollisuus RT
Betoniteollisuus ry



1. YLEISTÄ

Tämä tuotelehti käsittelee lyömällä asennettavia teräsbetonipaaluja, joiden nimelliskoko on 250x250, 300x300 ja 350x350 mm².

Tuotelehti pohjautuu paalutusohjeeseen PO-2011 (RIL 254-2011). Paalujen suunnittelussa on huomioitu seuraavat ohjeet ja standardit:

- SFS-EN 1992-1-1 Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu
- SFS-EN 12794 + A1 Betonivalmisosat. Perustuspaalut
- SFS-EN 12699 Pohjarakennustyöt. Maata syrjäyttävät paalut
- SFS-EN 13369 Betonivalmisosien yleiset säännöt
- Paalutusohje PO-2011 (RIL 254-2011)

Paalut ja niissä käytettävät tarvikkeet ja varusteet valmistetaan tehdasolosuhteissa kolmannen osapuolen laadunvalvonnan alaisuudessa.

2. KÄYTTÖKOHTEET

Uudistettua teräsbetonipaalua voidaan käyttää entistä monipuolisemmin erilaisten rakennusten ja infrarakenteiden paalutukseen. Tyypillisiä käyttökohteita ovat liikenne- ja väylärakenteet, teollisuus- ja asuinrakentaminen, kuten kerros- ja pientalot. Teräsbetonipaalu soveltuu erinomaisesti myös tuulivoimaloiden ja muun energiateollisuuden perustuksiin.

Uudistuneen teräsbetonipaalun etuja ovat muun ohella:

- Hyvä korroosionkestävyys
- Suuri nurjahduskestävyys
- Ympäristöystävällisyys
- Suuri kantavuus
- Nopea ja turvallinen jäykkäjatkos
- Kilpailukykyinen hinta
- Koko maan kattava paalutehdasverkosto

3. POHJATUTKIMUKSET

Pohjatutkimuksien yleisiä vaatimuksia koskevat standardit SFS-EN 1997-1 ja SFS-EN 1997-2 sekä huomioon otettavat kansalliset asiakirjat. Yksityiskohtaisia ohjeita ja suosituksia pohjatutkimuksista annetaan Paalutusohjeessa 2011 (PO2011).

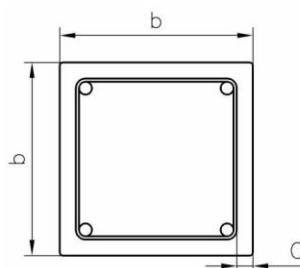
4. MITAT, MATERIAALIT JA VARUSTEET

Paaluissa käytettävä betoni valmistetaan korkealuokkaisista raaka-aineista standardin SFS-EN 206-1 mukaisesti. Betonin lujuus on C35/45 (K-45) tai C40/50 (K-50).

Raudoitteissa käytetään pääteräksinä standardien SFS 1215 tai SFS 1216 mukaisia harjateräksiä.

4.1. Tyypit, mitat ja materiaalit

b = paalun sivumitta
C = betonipeitteen paksuus
M = paaluarren massa
A = paalun kärjen ja poikkileikkauksen ala
A_u = paalun vaipan pinta-ala
f_{ck} = betonin puristuskestävyys



Taulukko 1. Paalun perustiedot

Paalun tyyppi	b [mm]	C [mm]		M [kg/m]	A [mm ²]	A _u [m ² /m]	f _{ck,cube} [MPa]
TB250a	250	+15 -10	25 +10 -5	156	62500	1,00	45
TB250b	250			156	62500	1,00	45
TB300a	300			225	90000	1,20	45
TB300b	300			225	90000	1,20	45
TB300c	300			225	90000	1,20	50
TB350a	350			307	122500	1,40	50

Paalut valmistetaan piirustusten mukaisesti.

Valmistustoleranssit

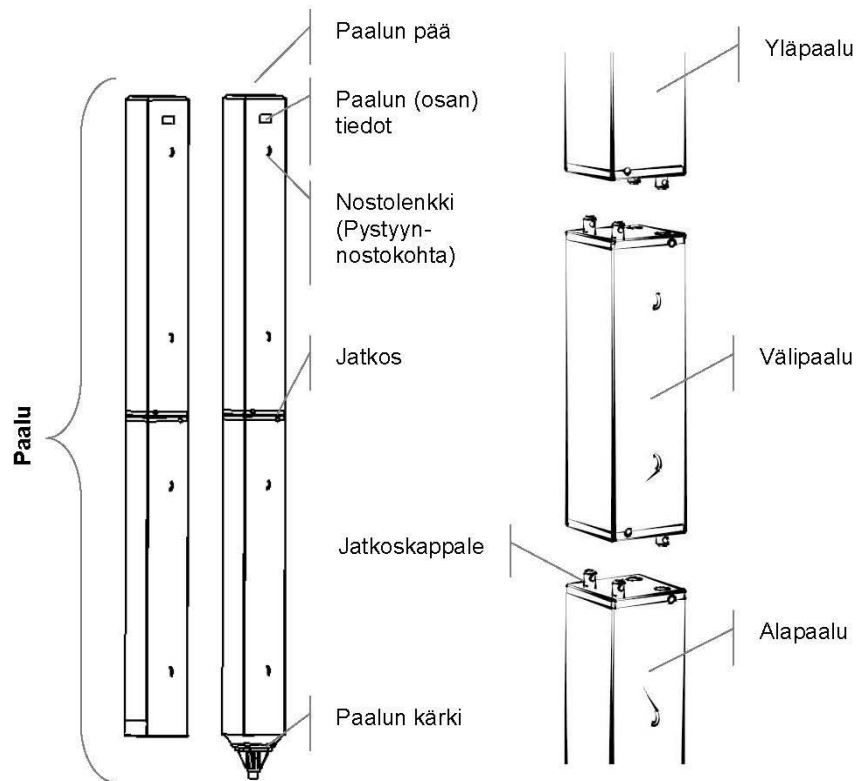
- Mikäli paalun sivumitta on nimellismittaa suurempi, voidaan betonipeitteen paksuus mitata nimellimitasta.
- Osapaalujen jatkospintojen kulmapoikkeama saa olla enintään 1:150.
- Paalun kärkivahvikkeen kulmapoikkeama saa olla enintään 1:75.
- Paalun nimellispituus: +150mm, -100mm
- Paalun yläpinnan ja alapinnan tulee olla kohtisuorassa paalun keskiakselia vastaan ja sen suhteen symmetrisiä. Kulmapoikkeama ei saa ylittää poikkileikkauksen matkalla 1/100.
- Raudoitustankojen päiden välisen eron tulee olla alle 20mm.
- Paalut on suunniteltu 100v käyttöäälle rasitusluokassa XC2.
- Paalun keskilinjan sivuttaispoikkeama saa olla enintään 0,2% mittaispisteiden välimatkasta.

betoniza

Teräsbetonipaaluja valmistetaan vakiopituuksina tasametrein. Paalun 250x250 ja 300x300 suurin valmistuspituus on 15 metriä (TB250a ja TB300a 12 m) ja paalun 350x350 on 14 metriä.

Taulukko 2. Paaluelementtien vakiopituudet.

Tyyppi	TB250a	TB250b	TB300a	TB300b	TB300c	TB350a
Yksimittainen paalu	3 – 12 m	3 – 15 m	3 – 12 m	3 – 15 m		3 – 14 m
Alapaalu, jatkettava						
Välipaalu						
Yläpaalu, jatkettava						



betoniza

4.2. Varusteet

Jatkos

Jatkosta käytetään, kun paalupisteen syvyys on suurempi kuin yhden paaluelementin vakioipituus. Jatkoksen taivutus- ja vetokestävyys mitoitetaan paalua vastaavaksi ja laskelmat varmennetaan standardin SFS-EN 12794 (luokka A) mukaisilla kuormituskokeilla.

Kalliokärki

Kalliokärki keskittää paalun kärkeen kohdistuvat voimat. Teräsbetonipaalut varustetaan kalliokärjellä, kun paalu lyödään kallioon tai todennäköiseen kallioon, vinoon kalliopintaan tai kiviseen tai lohkaraiseen maakerrokseen.

Maakärki

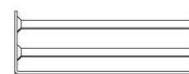
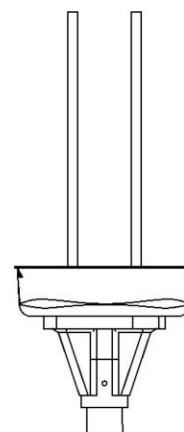
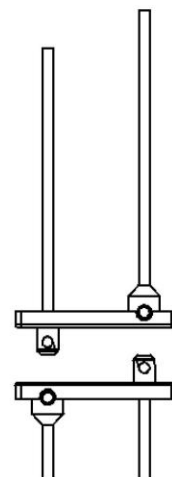
Paalun kärki voidaan vahvistaa tai suojata maakärjellä silloin, kun maapohjassa ei ole suuria, yli 200 mm kiviä tai lohkaraita, ja kun paalun kärki ei tukeudu kallioon.

Maakärki on rakenteeltaan sellainen, että se suojaa paalun alaosa vaurioitumiselta asennuksen aikana.

Kelpoisuuden osoittaminen

Jatkoksen kelpoisuus voidaan osoittaa osana paalun CE -merkintää.

Myös varmennettua käyttöselostetta voidaan käyttää teräsbetonipaalun varusteiden kuten jatkosten ja kalliokärkien kelpoisuuden osoittamiseen.





4.3. Merkintä

Tämän tuotelehden mukaisesti valmistettu paalu on merkitty Rakennusteollisuuden RT-tunnuksella sekä tämän tuotelehden nimellä (RT 2011). Kaikki osapaalut merkitään vähintään seuraavilla tiedoilla:

- Valmistaja
- Valmistuspäivämäärä
- Paalun ja kärjen tyyppi, pituus ja paino
- Tarkastetun valmistuksen toimitelimen merkki ja/tai CE-merkintä
- Rasitusluokka

5. SUUNNITTELU JA OMINAISUUDET

Paalun kuormitus lasketaan Eurokoodien mukaisilla osavarmuuskertoimilla.

Suunnittelija merkitsee piirustuksiin paalun tyyppin ja paalutustyöluokan.

Joissakin TB300c paaluissa on sallittu valmistusteknisistä syistä vähäinen (n.2%) alitus paalun laskennalliseen kestävyYTEEN.



5.1 Paalujen puristuskestävyys

Taulukko 3. Paalujen puristuskestävyydet murtorajatilassa

Paalun tyyppi	c _{uk} [kPa]	R _{d,nurj} [kN] nurjahduksen mukaan					R _{d,max} [kN]		
		P [%]	L [%]	5	7	10	PTL3	PTL2	PTL1
TB250a	L _{crf} / 150	100	0	443	541	A	605	544	495
		50	50	568	700	A			
		0	100	674	A	A			
	L _{crf} / 300	100	0	552	A	A			
		50	50	762	A	A			
		0	100	A	A	A			
TB250b	L _{crf} / 150	100	0	463	566	A	682	614	558
		50	50	592	730	A			
		0	100	699	A	A			
	L _{crf} / 300	100	0	580	A	A			
		50	50	798	A	A			
		0	100	A	A	A			
TB300a	L _{crf} / 150	100	0	643	786	A	870	783	711
		50	50	824	1016	A			
		0	100	977	A	A			
	L _{crf} / 300	100	0	802	A	A			
		50	50	1107	A	A			
		0	100	A	A	A			
TB300b	L _{crf} / 150	100	0	669	818	A	972	874	795
		50	50	855	1055	A			
		0	100	1010	A	A			
	L _{crf} / 300	100	0	838	A	A			
		50	50	1153	A	A			
		0	100	A	A	A			
TB300c	L _{crf} / 150	100	0	743	909	A	1124	1012	920
		50	50	941	1164	A			
		0	100	1102	A	A			
	L _{crf} / 300	100	0	939	A	A			
		50	50	1284	A	A			
		0	100	A	A	A			
TB350a	L _{crf} / 150	100	0	1002	1226	A	1509	1358	1234
		50	50	1270	1571	A			
		0	100	1488	A	A			
	L _{crf} / 300	100	0	1266	A	A			
		50	50	1732	A	A			
		0	100	A	A	A			

Taulukossa 3 on annettu nurjahdusmurtokestävyyden arvot 3:lle erilaiselle pitkä- ja lyhytaikaisuorman suhteelle. Väliarvot voidaan interpoloida suoraviivaisesti.

betoniza

Taulukossa 3 käytettävät merkinnät:

Jatkettu paalu: $L_{cr} / 150$

Jatkamaton paalu: $L_{cr} / 300$

P [%] = pitkäaikaiskuorman osuus kokonaiskuormasta nurjahdusmitoituksessa

L [%] = pitkäaikaiskuorman osuus kokonaiskuormasta nurjahdusmitoituksessa

L_{cr} = PO2011 osan 1 kaavan 4.50 mukainen kriittinen nurjahduspituus

C_{uk} = maan suljettu leikkauslujuus maaperätutkimusten perusteella.

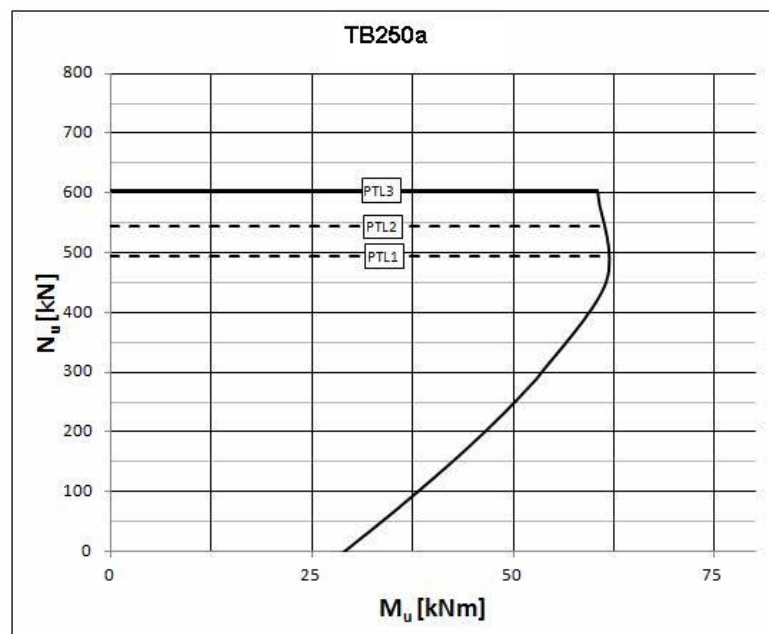
$R_{d,nurj}$ = paalun nurjahdusmurtokestävyys paalua ympäröivän maakerroksen murtuessa

PTL1, PTL2 ja PTL3 = paalutustyöluokat

$R_{d,max}$ = paalun suurin lyömällä osoitettavissa oleva murtorajatilän puristuskestävyys eri paalutustyöluokissa. Korrelaatiokerroin $\xi = 1,47$.

Merkintä A tarkoittaa, että paalun kestävyiden määrää $R_{d,max}$, muutoin paalun kestävyudeksi valitaan pienempi $R_{d,max}$ (paalutustyöluokan mukainen) tai $R_{d,nurj}$ arvoista.

5.2 Paalujen yhteisvaikutuskäyrät

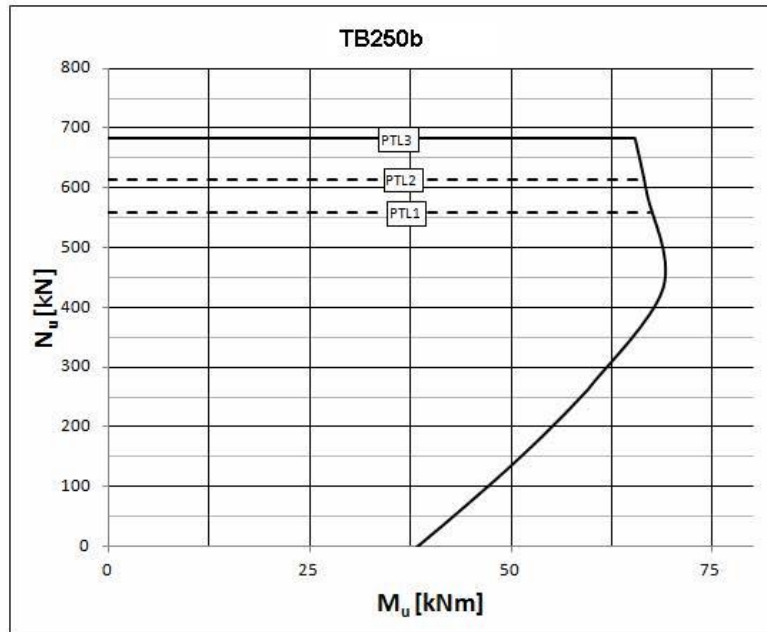


Kuva 1. Paalun TB250a poikkileikkauksen yhteisvaikutuskäyrä

PTL1 = paalutustyöluokka 1

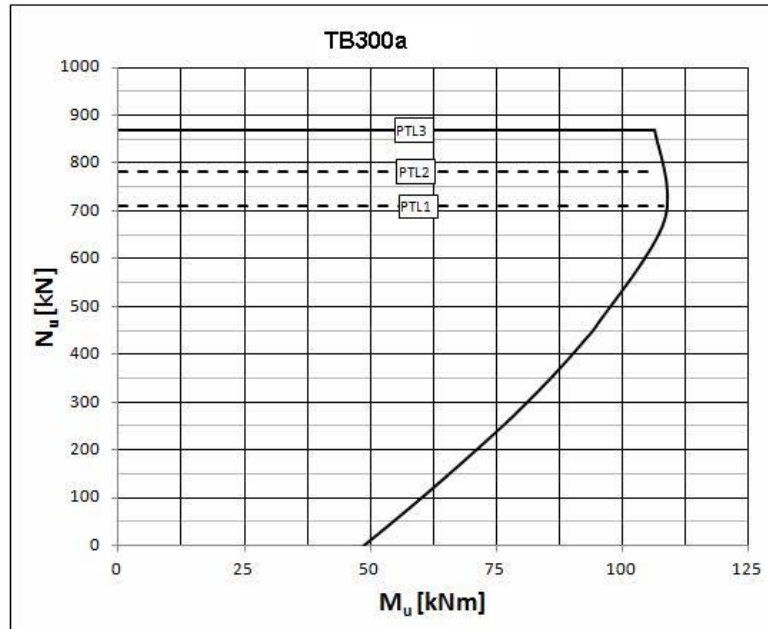
PTL2 = paalutustyöluokka 2

PTL3 = paalutustyöluokka 3



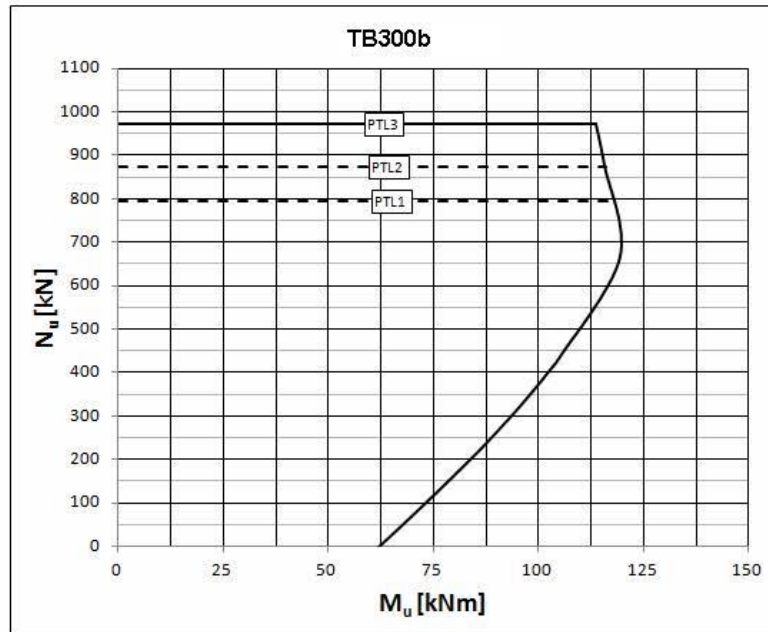
Kuva 2. Paalun TB250b poikileikkauksen yhteisvaikutuskäyrästä

PTL1 = paalutustyöluokka 1
PTL2 = paalutustyöluokka 2
PTL3 = paalutustyöluokka 3



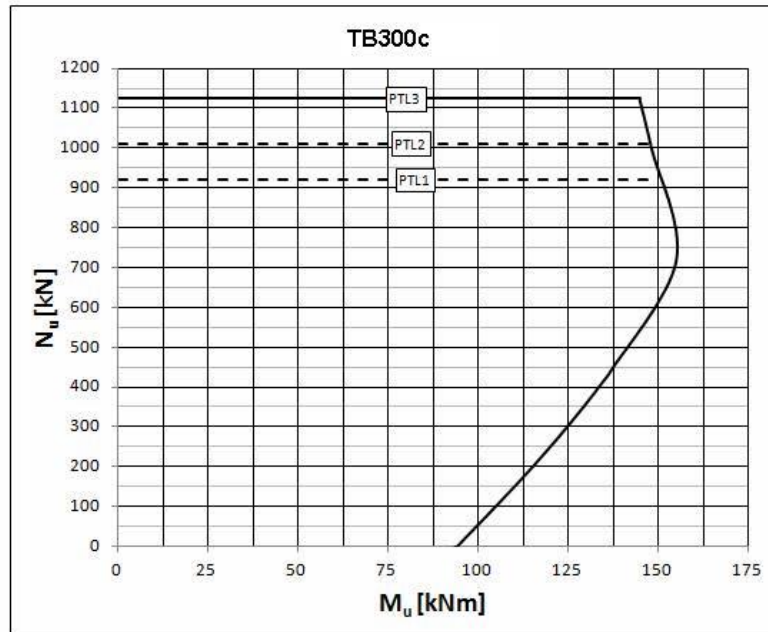
Kuva 3. Paalun TB300a poikkileikkauksen yhteisvaikutuskäyrästä

PTL1 = paalutustyöluokka 1
PTL2 = paalutustyöluokka 2
PTL3 = paalutustyöluokka 3



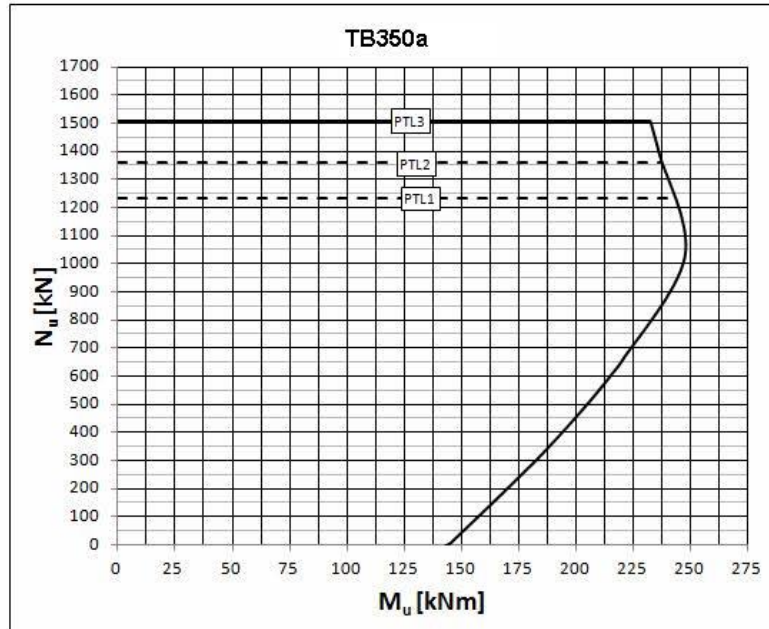
Kuva 4. Paalun TB300b poikileikkauksen yhteisvaikutuskäyrästä

PTL1 = paalutustyöluokka 1
PTL2 = paalutustyöluokka 2
PTL3 = paalutustyöluokka 3



Kuva 5. Paalun TB300c poikkileikkauksen yhteisvaikutuskäyrästä

PTL1 = paalutustyöluokka 1
PTL2 = paalutustyöluokka 2
PTL3 = paalutustyöluokka 3



Kuva 6. Paalun TB350a poikkileikkauksen yhteisvaikutuskäyrästä

PTL1 = paalutustyöluokka 1
PTL2 = paalutustyöluokka 2
PTL3 = paalutustyöluokka 3

5.2 Paalujen pääterästen ankkurointipituudet yläpuoliseen rakenteeseen

Paalujen pääterästen ankkurointipituudet täydelle voimalle paalun yläpuoliseen rakenteeseen on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Paalujen pääterästen ankkurointipituudet

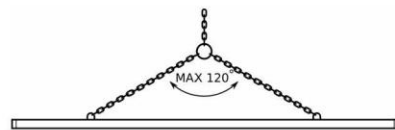
Paalun tyyppi	Ankkurointipituus		
	C25/30	C30/37	C35/45
TB250a	700	600	550
TB250b	800	700	600
TB300a	800	700	600
TB300b	900	800	700
TB300c	1150	1000	850
TB350a	1300	1150	1000

5.3 Paalujen käyttöikä

Paalut on suunniteltu 100v käyttöiälle rasitusluokassa XC2.

6. KÄSITTELY JA VARASTOINTI

Paalut ja niissä käytettävät varusteet varastoidaan ja niitä käsitellään työmaalla siten, että niihin ei synny vaurioita. Paalujen kuljetuksessa, varastoinnissa ja käsittelyssä on noudatettava tämän tuotelehden ohjeita.



Suosittelavin tapa paalun siirtämiseen työmaalla on nostaa sitä kumpaakin nostolenkkiä ja sallittua ketjujen haarakulmaa käyttäen.

24.11.2011

6.1. Varastointi työmaalla

Paalut varastoidaan nostolenkkien kohdalle asetettujen tukien varaan tai tasaiselle maalle rinnakkain. Paalujen varastointia pinoamalla useampaan kerrokseen ei suositella.

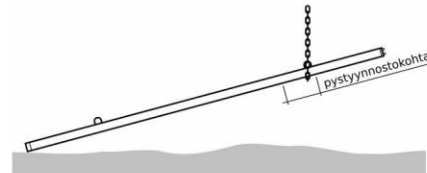
Siirrettäessä paalua vetämällä, pitää alustan olla tasainen.

6.2. Kuljetus

Paalut tulee tukea kuljetuksen ajaksi kuten varastointaessa ja kiinnittää huolellisesti vaurioiden estämiseksi.

6.3. Pystyynnosto

Paalu nostetaan pystyyn kiinnittämällä nostoketju kiristyvästi paalun varteeseen nostolenkin kohdalle. Paalua ei saa nostaa pystyyn nostolenkistä.





7. PAALUJEN ASENTAMINEN

Iskutyynyn kunto tulee tarkastaa ennen jokaisen paalun lyönnin aloittamista.

7.1 Uputuslyönnit

Paaluun syntyy vetojännityksiä yleensä aina, kun paalua lyödään. Uputuslyönneissä vetojännitys on suurimmillaan, kun paalua lyödään löysään maakerrokseen. Tässä tarkastellaan PO 2011:n mukaisia upotuslyöntien aiheuttamia vetojännityksiä ja niiden aiheuttamia lisäehtoja upotuslyöntien aikaisiin pudotuskorkeuksiin. Taulukossa 5 on esitetty lisäehdot pudotuskorkeuksiin lyötäessä saveen tai täyttöön. Myös iskusuojan kuluminen tulee ottaa huomioon.

Taulukko 5. Sallitut pudotuskorkeudet upotuslyönneissä lyötäessä saveen tai täyttöön.

Lyöntitilanne	paalu TB250a	paalu TB250b	paalu TB300a	paalu TB300b	paalu TB300c	paalu TB350a
lyönti saveen uudella 100mm koivusta valmistetulla iskusuojalla (E=350MPa)	0,1m	0,1m	0,1m **)	0,1m	0,2m	0,2m
lyönti saveen kuluneella 50mm koivusta valmistetulla iskusuojalla (E=1000MPa)	0,1m **)	0,1m	0,1m ****)	0,1m **)	0,1m	0,1m
lyönti 3m paksun täytön läpi, täytön alla savea 47m, käytössä uusi 100mm koivusta valmistettu iskusuoja (E=350MPa)	0,1m ***)	0,1m	0,1m ***)	0,1m	0,2m	0,1m
lyönti 3m paksun täytön läpi, täytön alla savea 47m, käytössä kulunut 50mm koivusta valmistettu iskusuoja (E=1000MPa)	0,1m ***)	*)	0,1m ***)	0,1 m ****)	0,1m	0,1m

*) noudatettava erityistä varovaisuutta ja käytettävä järkäleen minimipudotuskorkeutta

***) kiihdyttävillä järkäleillä minimipudotuskorkeus

****) noudatettava erityistä varovaisuutta ja maksimipaalupituus 12 m

*****) noudatettava erityistä varovaisuutta ja maksimipaalupituus 20 m



7.2 Lopetuslyönnit

Loppulyöntitaulukot on esitetty kullekin paalutyypille erikseen.

Taulukoissa on ilmoitettu eripituisten paalujen painaummat millimetreinä kymmenen loppulyönnin sarjalle. Tulokset on ryhmitelty paalutustyöluokan ja tarvittavan pudotuskorkeuden/lyöntienergian mukaan jaoteltuna.

Kun paalun kärki ulottuu kantavaan maakerrokseen ja paalun painuma pienenee, lyödään loppulyönnit. Yleensä loppulyönnit sisältävät 3-5 kymmenen lyönnin sarjaa. Loppulyöntisarjojen lukumäärä määritellään olosuhteiden mukaan. Jos paalun painuminen pienenee hitaasti, lyödään useampia sarjoja, ja jos painuma pienenee nopeasti, lyödään vähemmän.

Mikäli paalun painuma kymmenen lyönnin sarjalla alittaa 10 mm, on lyönti lopetettava välittömästi paalun vaurioitumisen estämiseksi. Lyönti voidaan lopettaa tähän, jos paalu on lähellä tavoitetasoa, tai jos mikään muu erityispiirre ei pakota jatkamaan paalun upotusta. Tällainen erityispiirre voi olla esimerkiksi se, että paalu on kaukana tavoitetasosta tai paalun on tukeuduttava kallioon. Mikäli upotusta jatketaan, käytetään maksimissaan 0,2 m pudotuskorkeutta.

Paalutustyöluokassa 3 lopetuslyönnit tarkastetaan PDA-mittauksella.

Esimerkiksi taulukosta 7 nähdään, että kun lyödään PTL2:ssa 30m pitkää TB250b paalua 5tn hydraulijärkäleellä ja pudotuskorkeudella 0,25m niin paalu saavuttaa suunnitellun kestävyuden, jos 10 lyönnin sarjan aikana paalu uppoaa 15mm tai vähemmän.



Taulukko 6. Lopetuslyönnit paalulle TB250a

PTL 1	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	19	14	13	13	13	13	0,20	0,80
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	28	21	20	20	20	19	0,20	0,80
	Hydraulijärkäle 5t	32	25	22	21	21	21	0,20	1,00
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	25	17	14	14	13	13	0,15	0,75
PTL 2	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	22	15	14	14	14	14	0,25	1,00
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	31	24	22	22	22	21	0,25	1,00
	Hydraulijärkäle 5t	36	29	24	24	23	23	0,25	1,25
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	32	23	18	18	18	17	0,20	1,00
PTL 3	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	24	16	15	15	15	14	0,30	1,20
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	23	16	15	14	14	14	0,25	1,00
	Hydraulijärkäle 5t	28	20	15	15	14	14	0,25	1,25
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	28	28	21	20	20	20	0,25	1,25

Taulukko 7. Lopetuslyönnit paalulle TB250b

PTL 1	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	22	15	14	14	14	14	0,25	1,00
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	31	24	22	22	22	21	0,25	1,00
	Hydraulijärkäle 5t	36	29	24	24	23	23	0,25	1,25
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	32	23	18	18	18	17	0,20	1,00
PTL 2	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	24	16	15	15	15	14	0,30	1,20
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	23	16	15	14	14	14	0,25	1,00
	Hydraulijärkäle 5t	28	20	15	15	14	14	0,25	1,25
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	28	28	21	20	20	20	0,25	1,25
PTL 3	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	24	17	15	15	14	14	0,35	1,40
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	25	18	16	15	15	15	0,30	1,20
	Hydraulijärkäle 5t	23	23	17	16	16	15	0,30	1,50
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	30	30	22	21	21	20	0,25	1,25



Taulukko 8. Lopetuslyönnit paalulle TB300a

PTL 1	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	27	23	23	23	22	22	0,35	1,40
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	19	16	16	15	15	15	0,25	1,00
	Hydraulijärkäle 5t	20	18	18	17	17	17	0,25	1,25
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	28	23	22	22	22	22	0,25	1,25
PTL 2	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	22	18	17	17	17	17	0,35	1,40
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	22	19	18	18	18	18	0,30	1,20
	Hydraulijärkäle 5t	23	21	20	20	20	20	0,30	1,50
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	22	18	17	17	17	16	0,25	1,25
PTL 3	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	21	17	-	-	-	-	0,40	1,60
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	23	18	-	-	-	-	0,35	1,40
	Hydraulijärkäle 5t	24	21	20	20	20	19	0,35	1,75
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	23	19	18	18	17	17	0,30	1,50

Taulukko 9. Lopetuslyönnit paalulle TB300b

PTL 1	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	22	18	17	17	17	17	0,35	1,40
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	22	19	18	18	18	18	0,30	1,20
	Hydraulijärkäle 5t	23	21	20	20	20	20	0,30	1,50
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	22	18	17	17	17	16	0,25	1,25
PTL 2	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	21	17	16	16	16	16	0,40	1,60
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	23	18	18	18	17	17	0,35	1,40
	Hydraulijärkäle 5t	24	21	20	20	20	19	0,35	1,75
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	23	19	18	18	17	17	0,30	1,50
PTL 3	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	25	19	19	18	18	18	0,50	2,00
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	22	17	16	16	16	16	0,40	1,60
	Hydraulijärkäle 5t	23	19	18	18	18	17	0,40	2,00
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	24	18	17	17	16	16	0,35	1,75



Taulukko 10. Lopetuslyönnit paalulle TB300c

PTL 1	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	24	20	19	19	19	18	0,45	1,80
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	20	16	16	15	15	15	0,35	1,40
	Hydraulijärkäle 5t	21	18	18	17	17	17	0,35	1,75
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	21	16	16	15	15	15	0,30	1,50
PTL 2	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	26	20	19	19	19	18	0,55	2,20
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	24	18	18	17	17	17	0,45	1,80
	Hydraulijärkäle 5t	25	21	20	20	19	19	0,45	2,25
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	27	20	19	19	18	18	0,40	2,00
PTL 3	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	13*	15	15	15	15	14	0,60	2,40
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	16**	19	19	18	18	18	0,55	2,20
	Hydraulijärkäle 5t	21	17	16	16	16	15	0,50	2,50
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	24	17	16	16	15	15	0,45	2,25

*pudotuskorkeus 0,5m / 2tm

**pudotuskorkeus 0,45m / 1,8tm

Taulukko 11. Lopetuslyönnit paalulle TB350a

	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	19*	19	18	18	17	17	0,50	2,00
	Hydraulijärkäle 5t	17*	16	16	16	16	15	0,45	2,25
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	20*	20	20	20	20	19	0,45	2,25
PTL 2	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	16*	16	16	15	15	15	0,65	2,60
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	17*	16	16	16	16	15	0,55	2,20
	Hydraulijärkäle 5t	19*	19	18	18	18	18	0,55	2,75
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	18*	18	18	18	18	18	0,50	2,50
PTL 3	Lyöntilaite	Paalupituus [m]						Pudotuskorkeus lyöntienergia	
		5	10	20	30	40	50	H[m]	E[tm]
	Hydraulijärkäle 4t	17*	17	16	16	16	16	0,80	3,20
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 4t	15*	15	15	15	14	14	0,65	2,60
	Hydraulijärkäle 5t	18*	18	17	17	17	16	0,65	3,25
	Kiihdytetty hydraulijärkäle 5t	18*	18	17	17	17	17	0,60	3,00

*pudotuskorkeus 0,05 m pienempi kuin muilla paalupituuksilla



LIITTEET

- Paalujen sallitut puristuskestävyydet -taulukko helpottamaan suunnittelijan työtä RakMK- ja Eurokoodi-normien siirtymävaiheessa.



Paalujen sallitut puristuskestävyydet

Paalun kuormitus lasketaan kuorman osavarmuuskertoimella 1,0.

Taulukko L1.1. Paalujen sallitut puristuskestävyydet

Paalu Tilaustunnus	R _{sall,nurj} [kN]	nurjahduksen mukaan					R _{sall,max} [kN]		
		c _{uk} [kPa]	P [%]	L [%]	5	7	10	PTL3	PTL2
TB250a	L _{cr} / 150	100	0	328	401	A	457	411	374
		50	50	428	528	A			
		0	100	449	A	A			
	L _{cr} / 300	100	0	409	A	A			
		50	50	575	A	A			
		0	100	A	A	A			
TB250b	L _{cr} / 150	100	0	343	419	A	515	463	421
		50	50	447	551	A			
		0	100	466	A	A			
	L _{cr} / 300	100	0	429	A	A			
		50	50	602	A	A			
		0	100	A	A	A			
TB300a	L _{cr} / 150	100	0	476	582	A	657	591	537
		50	50	622	767	A			
		0	100	651	A	A			
	L _{cr} / 300	100	0	594	A	A			
		50	50	835	A	A			
		0	100	A	A	A			
TB300b	L _{cr} / 150	100	0	496	606	A	734	660	600
		50	50	645	796	A			
		0	100	673	A	A			
	L _{cr} / 300	100	0	621	A	A			
		50	50	870	A	A			
		0	100	A	A	A			
TB300c	L _{cr} / 150	100	0	550	674	A	848	764	694
		50	50	711	878	A			
		0	100	734	A	A			
	L _{cr} / 300	100	0	696	A	A			
		50	50	969	A	A			
		0	100	A	A	A			
TB350a	L _{cr} / 150	100	0	742	908	A	1139	1025	931
		50	50	959	1186	A			
		0	100	992	A	A			
	L _{cr} / 300	100	0	938	A	A			
		50	50	1307	A	A			
		0	100	A	A	A			



Taulukossa L1.1 on annettu suurimman sallitun nurjahduskestävyyden arvot 3 erilaiselle pitkä- ja lyhytaikaiskuorman suhteelle ja pysyvän ja muuttuvan kuorman suhteelle.

Taulukossa 3 käytettävät merkinnät:

Jatkettu paalu: $L_{cr} / 150$

Jatkamaton paalu: $L_{cr} / 300$

P [%] = pitkäaikaiskuorman ja pysyvän kuorman osuus kokonaiskuormasta nurjahdusmitoituksessa

L [%] = lyhytaikaiskuorman ja muuttuvan kuorman osuus kokonaiskuormasta nurjahdusmitoituksessa

L_{cr} = PO2011 osan 1 kaavan 4.50 mukainen kriittinen nurjahduspituus

c_{uk} = maan suljettu leikkauslujuus maaperätutkimusten perusteella.

$R_{sall,nurj}$ = paalun suurin sallittu nurjahduskestävyys paalua ympäröivän maakerroksen murtuessa

PTL1, PTL2 ja PTL3 = paalutustyöluokat

$R_{sall,max}$ = paalun suurin sallittu puristuskestävyys eri paalutustyöluokissa, kun pysyvän ja muuttuvan kuorman suhde on 50% / 50%. Korrelaatiokerroin $\xi = 1,47$.

Merkintä A tarkoittaa, että paalun kestävyys määrää $R_{sall,max}$, muutoin paalun kestävyudeksi valitaan pienempi $R_{sall,max}$ (paalutustyöluokan mukainen) tai $R_{sall,nurj}$ arvoista.

betoniza

AURAN PAALUTUS
Piling Partner



**MAANRAKENNUSLIIKE
E.M. PEKKINEN OY**

S^{TURUN}**SIIRTOMURSKKE OY**
Sitomokuja 6, 21200 Raisio
Puh. 02-438 6441, fax 02-438 6445

PIRKAN RAKENTAJAPALVELU OY

PROFESSIONAL OF DEEP FOUNDATION

