



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Santeri Mustonen

CFA-paalutustuotannon käyttöönotto ja kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

24.4.2019

Tekijä Otsikko	Santeri Mustonen CFA-paalutustuotannon käyttöönotto ja kehittäminen
Sivumäärä Aika	32 sivua + 2 liitettä 24.4.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Infrarakentaminen
Ohjaajat	Lehtori Tapani Järvenpää Projektipäällikkö Matias Niemeläinen
<p>Tämän opinnäytetyön tilaaja on Destia Engineering Oy. Se on osa Destia Oy -konsernia, ja kuuluu Destian Erikoisrakentamisen tulosityksikköön. Päätoimiala on pohjavahvistuksissa.</p> <p>Yrityksen eniten tekemä paalutusmuoto on porapaalutus. Kaivinpaalutukset ovat olleet vain pieni osa yrityksen liikevaihtoa. Toiminnan laajentuessa myös kaivinpaalujen osaa- mista ja tehokkuutta on pyritty parantamaan vastaten paremmin asiakkaiden vaativiin tarpeisiin.</p> <p>Tässä työssä käytiin läpi CFA-paalutuksen keskeisiä asioita, kuten työmenetelmän tarkka kuvaus, työhön tarvittava kalusto sekä materiaalit. Lisäksi työssä käsiteltiin laajan paalutusurakan aikana esiin tulleita ongelmia ja pohdintoja. Työn on tarkoituksena olla apuna tulevia CFA-urakoita suunniteltaessa ja toteuttaessa.</p>	
Avainsanat	CFA-paalutus, kaivinpaalutus, työmenetelmä, auger

Author Title	Santeri Mustonen Development of CFA-Piling Construction
Number of Pages Date	32 pages + 2 appendices 24 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Infrastructure
Supervisor(s)	Tapani Järvenpää, Senior Lecturer Matias Niemeläinen, Project manager
<p>This thesis was created for and in collaboration with Destia Engineering Oy which is part of and a subsidiary of Destia Oy. The main focus and niche for Destia Engineering (DE) is in foundation creation and production as well as in field engineering. The most common piling type made by DE is bored piles using DTH-method. The other bored piles using other production methods have been only a small part of the manufacturing. DE is constantly improving its knowledge, skills, and work experience in order to offer a much wider range of piling types to satisfy its customers' demanding needs. The main purpose of this thesis is to help plan and execute upcoming CFA- projects.</p> <p>In this research and thesis are listed key elements for CFA-piling, such as the accurate description of the working method, equipment, and materials as well as the inventory needed for the production. Also in this research are listed the main concerns and information that developed and appeared during a large CFA-piling job.</p>	
Keywords	CFA-piling, auger, working method, bored piles

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Rajaukset	1
2	Suurpaalutus	2
2.1	Kaivinpaalutus kahmarikauhamenetelmällä	3
2.2	Kaivinpaalutus Kelly-menetelmällä	4
2.3	Porapaalu DTH-menetelmällä	5
2.4	Lyötävät teräspalkkipaalut	6
2.5	Vibrex-paalu	6
3	CFA-paalutus	8
3.1	Työmenetelmän kuvaus	9
3.2	Työnaikaiset riskit	11
3.3	Kalusto	12
3.4	Materiaalit	15
3.4.1	Betoni	15
3.4.2	Rauta	15
3.5	Laadunvarmistus	17
3.5.1	Staattinen koekuormitus	17
3.5.2	Dynaaminen koekuormitus	17
3.5.3	Monitorointi	18
3.5.4	Betonilaatu	18
3.5.5	Raudoitteet	18
4	CASE – Pori Energia	19
4.1	Urakan tavoite	19
4.2	Käytetty kalusto sekä työryhmä	19
4.3	Paalutuksen käynnistys (PDA-mittaus)	21
4.4	Työmaaolosuhteet	23
4.5	Paalutuksen aikainen monitorointi	23
4.6	Poraus	24
4.7	Betonointi	25
4.8	Raudoituksen upotus	25
4.9	Paalun yläpää	26
4.10	Työsaavutus	28

5	Tulokset	30
6	Yhteenveto	31
	Lähteet	32
	Liitteet	
	Liite 1. NDT-monitorointi	
	Liite 2. BetoPlus-laskelma. Betonoinnin lämpötilatarkkailu ja lujuudenkehitys	

Lyhenteet

CFA – Continuous Flight Auger

d – Diameter (halkaisija)

DE – Destia Engineering Oy

DTH - Down The Hole

PDA - Pile Driving Analyzer

TV – Työvuoro (8h työskentelyä)

1 Johdanto

Tämä työ käsittelee CFA-paalutusta sekä sen toteuttamisen kannalta keskeisiä asioita. Kaivinpaalutus on yleisesti ottaen Suomessa vähän käytetty paalutusmuoto, ja varsinkin CFA-menetelmällä tehtyjä kohteita on vähän. Menetelmällä on kuitenkin omia hyviä puolia, ja joissain kohteissa se voi olla erittäin varteenotettava vaihtoehto niin kustannusten, aikataulun kuin lopputuloksen puolesta. Koska menetelmä on Suomessa vähän käytetty, kotimaista kirjallisuutta aiheesta on myös tarjolla niukasti. Vielä viime vuosikymmenen puolella CFA-paalutuksesta ei ollut saatavilla suomalaista virallista ohjeistusta [Jääskeläinen 2009: 102.], Euroopassa menetelmä on kuitenkin ollut pitkään laajassa käytössä, joten kehittynyttä kalustoa on hyvin saatavana. Myös aiheeseen liittyvää kirjallisuutta löytyy kohtuullisen hyvin. Tämän työn tärkeimpiä tietolähteitä ovat suhteellisen tuoreet suomalaiset julkaisut Paalutusohje 2016 (RIL 254-2016) sekä standardi SFS-EN 1536 + A1 (Execution of special geotechnical work. Bored piles).

Työn tarkoituksena on luoda selkeä työkuvaus CFA-paalutukselle sekä käsitellä keskeisiä asioita CFA-paalutuksen toteuttamiseen liittyen. Työn aikana kerättyä tuotantotietoa on tarkoitus käyttää apuna tulevissa paalutusurakoissa.

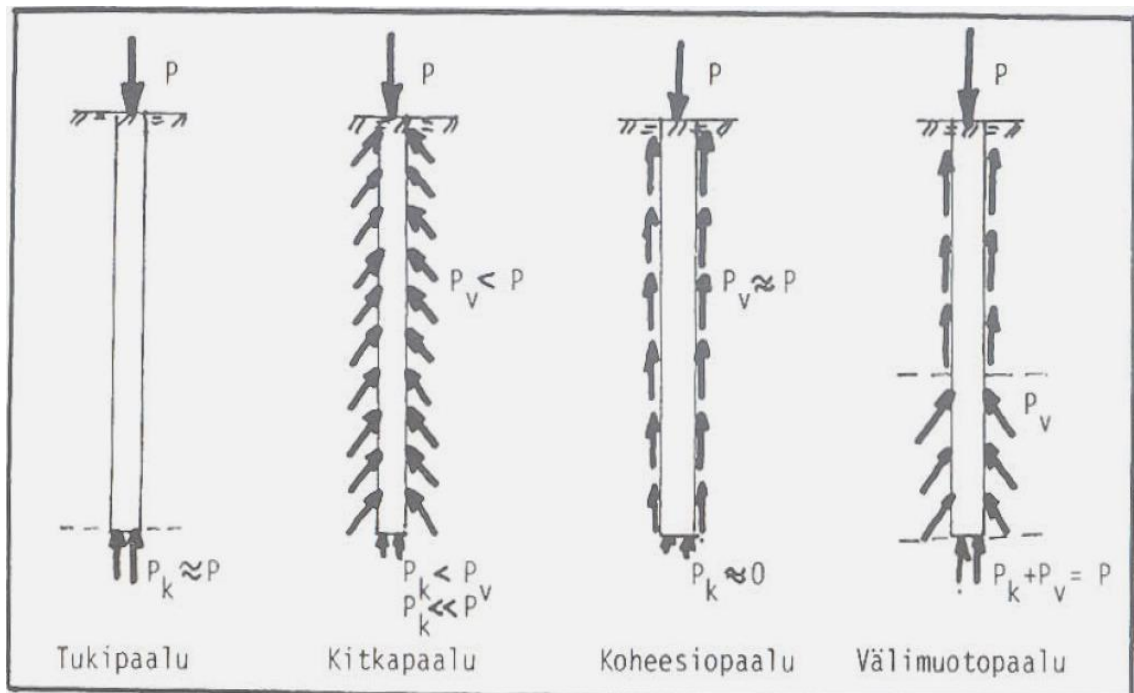
Tässä työssä käsiteltävä tutkimus perustuu Porissa 2018-kesällä suoritettuun CFA-paalutustyömaahan. Kyseessä oli Suomen mittakaavassa suuri paalutusurakka

1.1 Rajaukset

Tutkimuksessa tarkastellaan vain suurpaaluja. Teräsbetonisia lyöntipaaluja sekä puupaaluja ei käsitellä ollenkaan. Tutkimuksessa ei oteta kantaa CFA-paalujen kantavuuden ja mitoituksen suunnitteluun.

2 Suurpaalutus

Paalujen tehtävä on kannatella rakenteita. Niiden tehtävä on siirtää tuleva kuorma kantamattomasta maaperästä kovaan moreeniin tai kallioon, tai saada kantavuus muulla tavalla, esimerkiksi paalun vaipaltaan (kuva 1). Yleensä paalun kantavuus muodostuu kuitenkin näiden kaikkien summasta, mutta nimitys tulee merkittävimmän kantavuusvoiman mukaan.



Kuva 1. Paalujen toimintatavat [Rantamäki & Tamminen 2000.]

Suurpaalut ovat halkaisijaltaan 300 mm tai enemmän, ja niiden kantavuus on 1,5MN tai suurempi. Suurpaaluja käytetään kohteissa, joissa kuormat ovat erittäin isoja. Näitä ovat esimerkiksi isot teollisuusrakennukset, sillat tai korkeat tornitalot. [Jääskeläinen 2009: 95.]

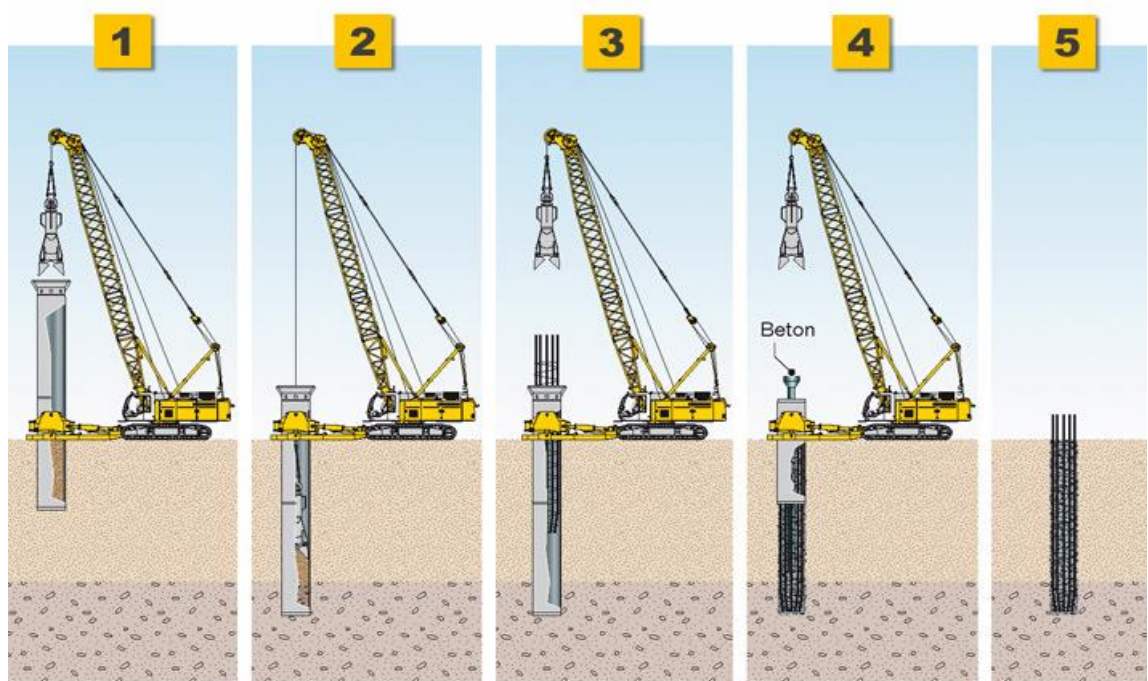
Suurpaalut voidaan karkeasti jakaa kahteen eri luokkaan, maata syrjäyttäviin sekä maata syrjäyttämättömiin. Maata syrjäyttävät paalut asennetaan maahan ilman, että materiaalia poistetaan maasta esim. kaivamalla tai poraamalla. Yleisin asennustapa on lyöminen, jolloin paalu tunkeutuu maan sisälle. Maata syrjäyttämättömissä paaluissa asennus tehdään poistamalla maata kaivamalla tai poraamalla. Paalu voidaan tehdä

suoja-putken kanssa tai ilman. Maata syrjäyttämättömät paalut ovat yleensä kaivin- tai porapaaluja. [RIL 254-1&2-2016: 15-16,139-140.]

Seuraavaksi esitellään lyhyesti yleisimpiä suurpaalutustyypppejä. CFA-paalutus käsitellään omassa luvussa 3.

2.1 Kaivinpaalutus kahmarikauhamenetelmällä

Kyseessä on ns. perinteinen kaivinpaalumenetelmä, jolla on monen vuosikymmenen perinteet myös Suomessa. Menetelmä on kuitenkin edelleen käytössä. Menetelmää käytetään yleensä kohteissa, joissa paaluille tulevat kuormat ovat erittäin isoja. Menetelmällä voidaan varmistaa myös hyvä paalun kalliokontakti. Työkoneena toimii tavallisen paalutuskoneen sijasta yleensä tela-alustainen ristikkopuominosturi. Paalun tyypilliset halkaisijat ovat 900, 1200 tai 1500 mm. [Jääskeläinen 2009: 95.]



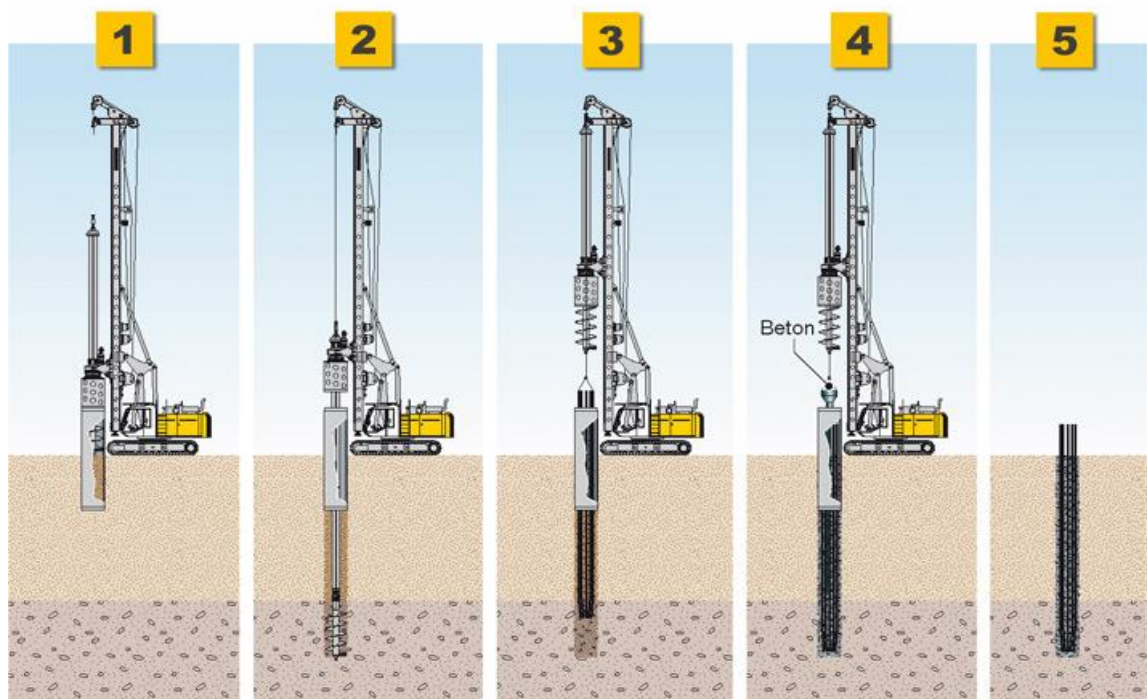
Kuva 2. Perinteisen kaivinpaalun työvaiheet. 1. Työputken maahan hiertäminen oskillaattorilla. 2. Maa-aineksen poistaminen työputken sisältä, yleisimmin kahmarikauhalla. 3. Raudoitteen asentaminen. 4. Betonointi sekä työputken ylös hiertäminen. 5. Valmis paalu. [Liebherr 2019.]

Työvaiheet ovat selitetty kuvassa 2. Ensimmäisenä työvaiheena on työputken asennus. Asennus tapahtuu työkoneen etuosaan kiinnitetyllä oskillaattorilla eli hiertopukilla, jolla

työputkea hierretään ja painetaan maan sisälle. Työputki koostuu useammasta osasta, ja sitä joudutaan jatkamaan kaivuun aikana. Ennen työputken jatkamista sen sisällä oleva maa-aines poistetaan nosturissa roikkuvalla kahmarikauhalla. Työputkea ja kaivuuta jatketaan, kunnes haluttu paalun pituus tai kallionpinta on saavutettu. Mahdolliset kivet ja lohkarieet, jotka haittaavat kaivuuta rikotaan järeällä meisselillä tiputtamalla sitä työputken sisään tai räjäyttämällä ne maan alla ennen paalutuksen aloittamista. [Rantamäki & Tamminne 2000: 90.]

2.2 Kaivinpaalutus Kelly-menetelmällä

Kelly-menetelmässä kaivantoa tukeva työputki asennetaan maahan paalutuskoneen mastossa olevalla pyörittäjällä. Työputkea pyöritetään ja painetaan alaspäin samanaikaisesti (kuva 3.). Tarvittaessa työputki voidaan asentaa myös oskillaattorilla.



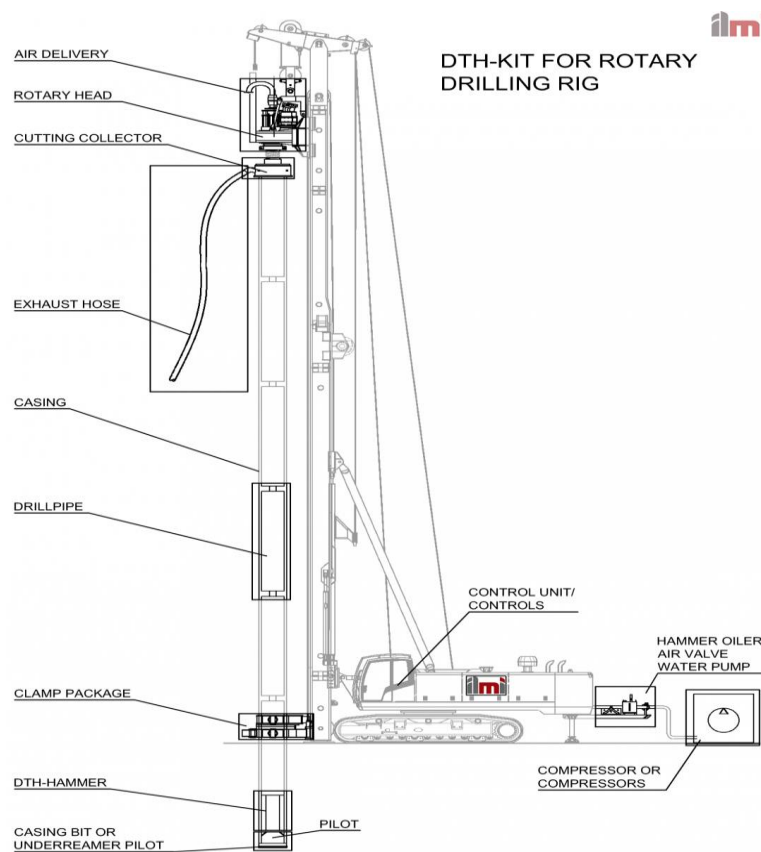
Kuva 3. Työvaiheet Kelly-menetelmällä. 1. Työputken painaminen maahan. 2. Maa-aineksen poistaminen työputken sisältä. 3. Raudoitteen asentaminen. 4. Betonointi. 5. Valmis paalu. [Liebherr 2019.]

Työputken sisältä maata kaivetaan erilaisilla työkaluilla, jotka ovat Kelly-tangon päässä. Työkalut, kuten lyhyet auger-kairat tai kannukairat ovat kiinni tangossa nopeasti käytettävällä tappiliitoksella, jolloin niitä voi vaihtaa helposti kaivettavan maaperän mukaan.

Teleskooppinen Kelly-tanko on nopein vaihtoehto, mutta myös erillisistä osista jatkettavia tankoja on olemassa. [Tomlinson & Woodward 2008: 114-115.]

2.3 Porapaalu DTH-menetelmällä

Suurläpimittaiset porapaalut tehdään yleensä DTH-, eli uppoporausmenetelmällä (kuva 4). Menetelmässä paaluputki porataan maahan sen alapäähän kiinnitetyn vasaran avulla. Vasara kiinnittyy poratankojen välityksellä ylös hydraulipyörittäjään. Vasaraa ohjataan yleensä paineilmalla, joka tulee poratankojen ja pyörittäjän läpi. Porausjäte kulkeutuu paineilman mukana paaluputken ja poratankojen välistä ylös. [RIL 254-2-2016: 211.]



Kuva 4. Uppoporauskalusto [Ilmi Solutions Oy.]

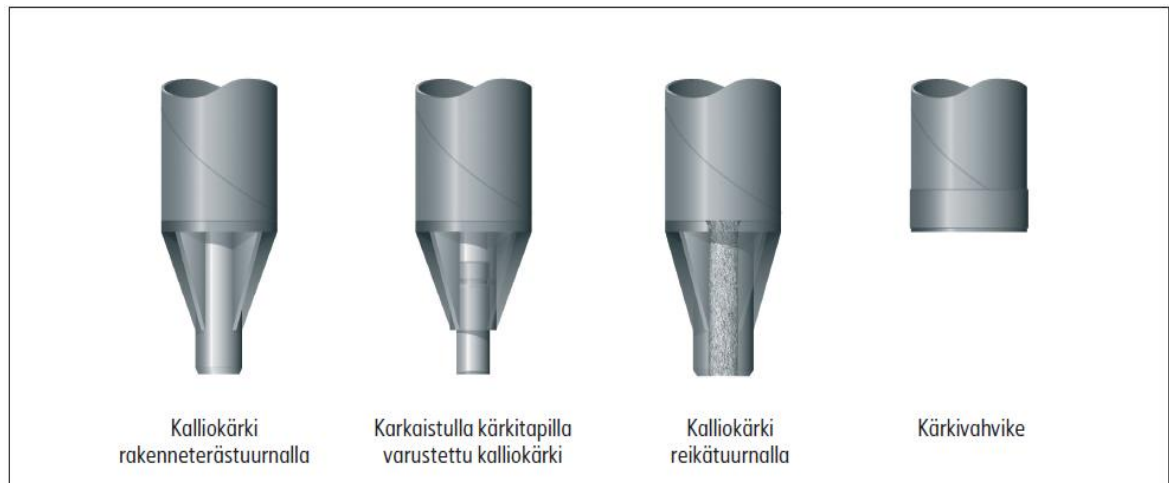
Porapaalut ovat yleensä tukipaaluja. Porausta jatketaan usein kallion sisään, jotta voidaan olla varmoja, että kyseessä ei ole kivi tai lohkare. Porapaalutuksella saadaan paaluputki kätevästi alas myös kivikkoisessa ja lohkareisessa maastossa. Menetelmällä voidaan myös saavuttaa myös suuria paalupituuksia, koska poratankojen alapäässä

olevan vasaran ansiosta sen lyöntivoima ei heikkene merkittävästi paalupituuden kasvaessa. Poraus ei juurikaan aiheuta tärinää. [Lehtonen 2006: 41-43.]

2.4 Lyötävät teräsputkipaalut

Menetelmässä teräsputkipaalut asennetaan maahan putken yläpäättä lyömällä. Lyöntilaitteena toimii yleensä hydraulijärkäle. Muita lyöntilaitteita ovat mm. dieselkäyttöiset järkäleet sekä vapaapudotusjärkäleet. [RIL 254-2-2016: 208.]

Paaluputken alapää on yleensä tulpattu, jolloin paalu syrjäyttää maata liikkuaan alaspäin. Suomessa suurläpimittaiset putkipaalut on varustettu yleensä kalliokärjillä (kuva 5). [Jääskeläinen 2009: 99.]



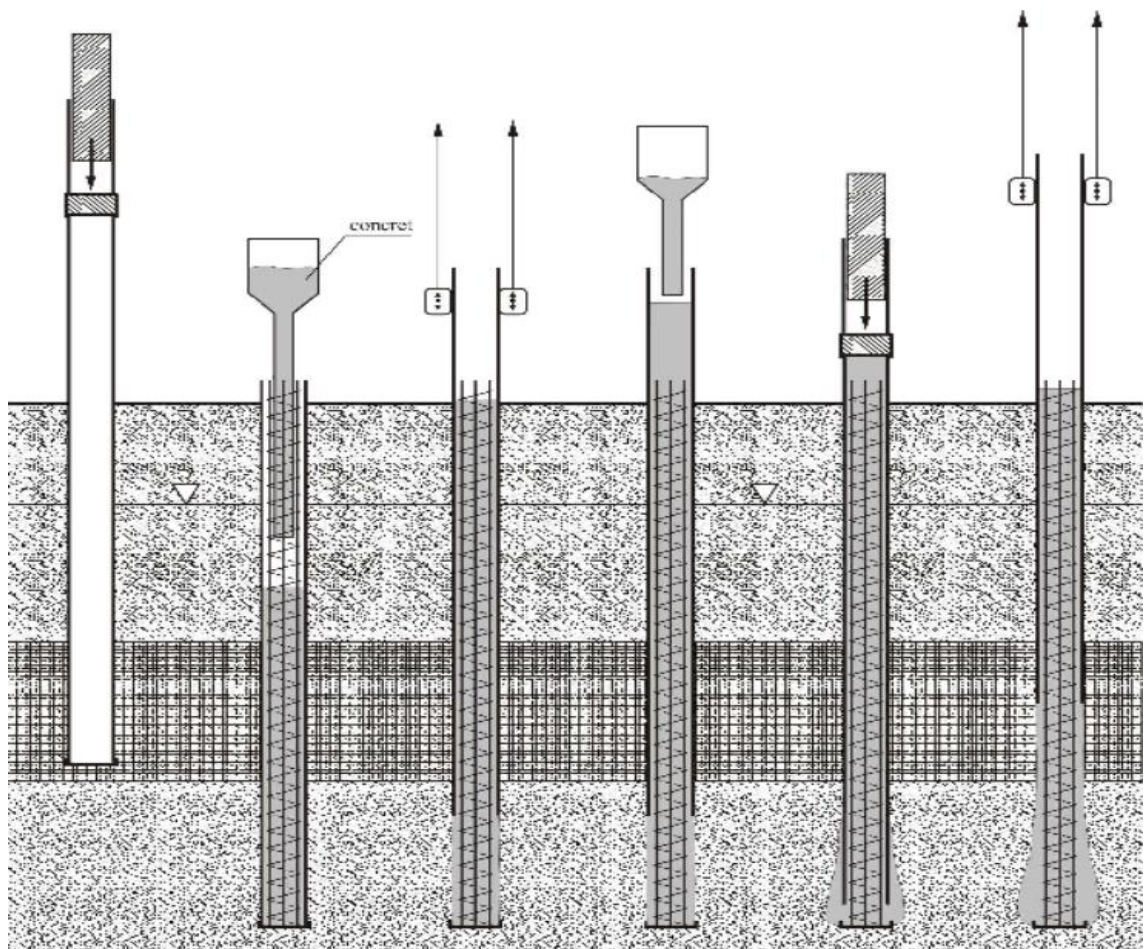
Kuva 5. Paalukärkityypit suurläpimittaisille lyötävälle putkipaaluille [SSAB 2018.]

Tässä luvussa käsiteltävistä paalutusmuodoista tämä on yleisin Suomessa. Syynä on yksinkertainen asennuskalusto, työtekniikka, helposti saavutettavat suuret kantavuudet ja paalun kantavuuden laadunvarmistus.

2.5 Vibrex-paalu

Vibrex-paalu tehdään teräksisen työputken avulla. Alapäästä vesitiiviiksi tulpattu teräsputki lyödään maahan tavoitesyvyydelle, jonka jälkeen putken sisään lasketaan raudotte. Työputken sisään valetaan betoni, jonka jälkeen putki nostetaan maasta täryttämäl-

lä. Putken alapäässä ollut tulppa jää maahan paalun anturaksi. [Jääskeläinen 2009: 98.]

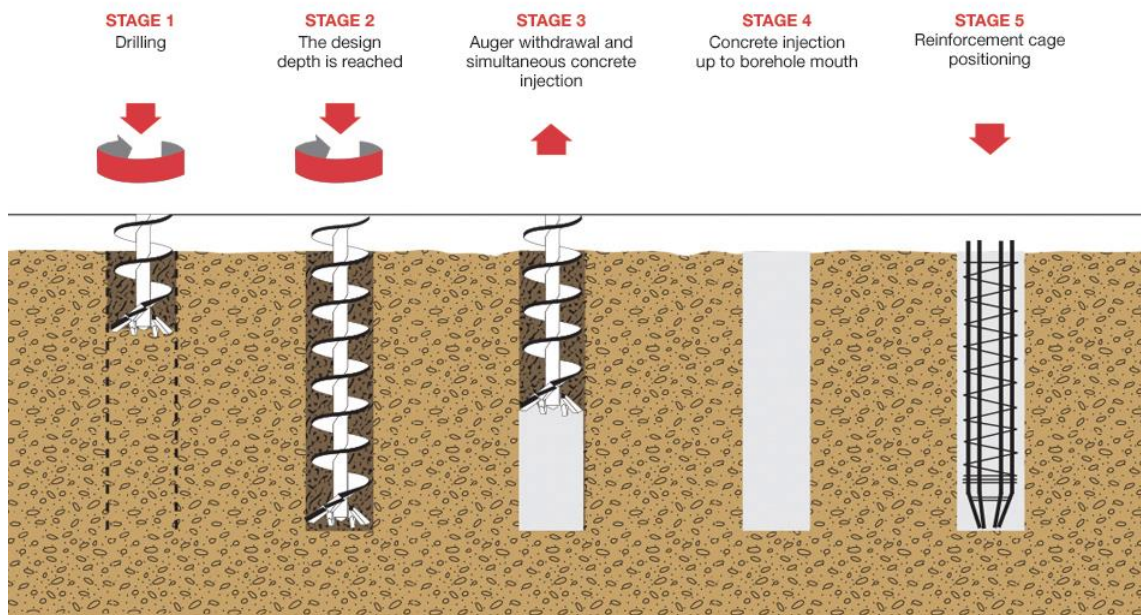


Kuva 6. Vibrex-paalutuksen työvaiheet lisätiivistyksen kanssa. [Więclawski 2012.]

Vibrex-paalut ovat maata syrjäyttäviä, ja ne aiheuttavat tärinää. Maahan lyötävän umpinaisen putken sekä täryttämisen ansiosta paalun vaippakitka muodostuu hyväksi. Mikäli lisäkantavuutta tarvitaan, voidaan työputki täyttää uudelleen 1.5-3 metrin noston jälkeen ja lyödä se uudelleen tavoitesyvyyteen lisäbetonin kanssa (kuva 6). Työputken alapäästä paisuva betoni muodostaa leveämmän kohdan paalun alapäähän tiivistäen samalla ympäröivää maata. [Więclawski 2012.]

3 CFA-Paalutus

CFA- paalut kuuluvat kaivinpaaluihin. CFA-paalut tehdään ruuvimaisella augerkairalla, jonka kierteiden avulla maa aines nostetaan ylös, samalla täyttäen kaivantoa pumpaamalla betonia kairan ontton varren läpi (kuva 7). Paalut ovat lieriön muotoisia, ja paalun halkaisija on koko matkalla sama. Tyypillinen CFA-paalun halkaisija on 0,3-1,2 m. Paalun pituus on yleensä 10-25 m, mutta jopa yli 30 m paaluja on mahdollista tehdä.



Kuva 7. CFA-paalutuksen työvaiheet [Ground Development Ltd 2019.]

Erikoista CFA-paalutuksessa on se, että siinä ei käytetä ollenkaan suojaputkea. Kaivantoa tukee joko augerkaira sekä sen siipien välissä oleva maa-aines tai valettu betoni. Paalukaivanto pysyy tuettuna koko paalun tekemisen ajan. [FPS 2004: 3.] [SFS EN 1536+A1: 36-37.]

Maata syrjäyttämättömänä paaluna sen vahvuuksiin kuuluu hiljaisuus sekä värinättömyys. CFA-paalutuksen äänentaso syntyy pelkästään työkonoiden moottoreiden käynnin aiheuttamasta äänestä, sillä lyöntejä tai iskuja ei ole. Rauhallisesta kairan pyörimisestä ei synny värinää, joka mahdollistaa työskentelyn alueilla, jossa värinäarvot ovat erittäin matalia, esimerkiksi talojen seinien vieressä. Paalun pituutta sekä halkaisijaa pystyy muuttamaan vaadittavan kantavuuden sekä maaperän mukaan. [Jääskeläinen 2009: 102; Case-Pori energia.]

Paalut tehdään yksimittaisina, ja paalun pituuden rajaa käytössä olevan paalutuskooneen kapasiteetti, yleensä maston pituus sekä koneen teho. Kairaa ei tarvitse kesken kairauksen jatkaa tai lyhentää niin kuin esimerkiksi poratankoja. Tästä johtuen on paalutuksen työn tehokkuus hyvä.

CFA-paalutus ei sovellu erittäin pehmeisiin maaperiin. Maaperän on syytä olla itsekan-tavaa, joten hienossa hiekassa tai merellä paalutukset eivät onnistu. Isot kivet, lohka-reet, juuret ja muut kovat materiaalit maaperässä estävät kairan tunkeutumista ja saat-tavat vahingoittaa kairan aloituspalaa.

Työmenetelmän takia paalun yläpää voi sijaita korkeintaan maanpinnan tasossa. Mikäli paalun yläpinnan halutaan olevan korkeammalla, on maanpintaa nostettava täyttämäl-lä. Täytössä on hyvä varmistaa riittävä kantavuus paalutuskonetta varten. Paalujen todellinen korko on suotavaa olla noin 0.5 metriä maanpinnan alapuolella, jotta voidaan varmistua paalun tasaisesta laadusta. Paalujen betonoinnin laatu maanpinnan lähei-syydessä saattaa olla heikko [Case- Pori Energia].

3.1 Työmenetelmän kuvaus

Ennen työn aloitusta on syytä varmistaa, että kaikki tulevan työvuoron aikana tehtävät paalut voidaan tehdä ilman betonipumpun ja nosturin siirtämistä, mikäli tämä on mah-dollista. Kerralla oikein sijoitettu kalusto säästää aikaa, sillä kaluston siirtely saattaa kestää huomattavan pitkään. Huomioitavaa on muun muassa nosturin sekä betoni-pumpun maston sekä letkujen yltäminen kaikissa tilanteissa. Syytä on kiinnittää myös puomien sijaintiin, että ne eivät tule toistensa tielle tai mene ristiin.

Ensimmäisenä ajetaan paalutuskone kohtaan, josta paalu pystytään tekemään. Seu-raava työvaihe on kairan alasporaaminen. Alasporauksen aikana kaira leikkaa maata. Alasporauksen aikana ylösnouseva maa-aines on sitä, jota kaira sekä sen ontto varsi syrjäyttää maan sisään mentäessä. Kairan pyörimisnopeus ei saa olla liian suuri suh-teessa alasetoon, jotta maa ei häiriinny [luku 3.2].

Kun kairan alapää on saavuttanut tavoitesyvyyden, kairaa nostetaan hiukan ylöspäin, noin 0,1-0,5 m, jotta kairan pohjassa olevalla luukulla on tilaa aueta. Jos kairan pohjas-sa ei ole luukkuja on kairaa kuitenkin syytä nostaa, jotta betonilla on tilaa purkautua.

Mikäli betonointia ei päästä aloittamaan esimerkiksi kairaan erottuneen betonin takia, kaira voidaan nostaa pois pyörittämällä sitä kierteiden myötäisesti ylöspäin häiritsemällä mahdollisimman vähän ympäröivää maata. Tämän jälkeen paalu voidaan toteuttaa samaan paikkaan poraamalla kaira vähintään alkuperäiselle syvyydelle. [SFS-EN 1536+A1: 44-45.]

Kun kairaa on saatu vähän nostettua, alkaa betonin pumppaus sekä kairan nostaminen. Sekä alaspourauksen, että ylösnostamisen aikana kairan on pyörittävä kaivuun suuntaisesti [SFS EN 1536+A1: 44-45]. Ylöspourauksen aikana kaira ei saa nousta liian nopeasti, jotta vapautuva tila ehtisi täyttyä betonista ja paalun halkaisija pysyisi tasaisena. Liian nopean ylösvedon johdosta paalun halkaisija saattaa pienentyä aiheuttaen samalla heikentyvää vaippakitkaa. Myös paalun rakenteellinen kestävyys kärsii. Ylösmenonopeuden sekä betonin pumppaustehon on pysyttävä mahdollisimman vakiona koko paalun tekemisen ajan, jotta laatu pysyisi tasaisena. Betonin pumppauksen on pysyttävä riittävänä kunnes kairan alapää on saavuttanut työskentelytason [SFS EN 1536+A1: 44-45].

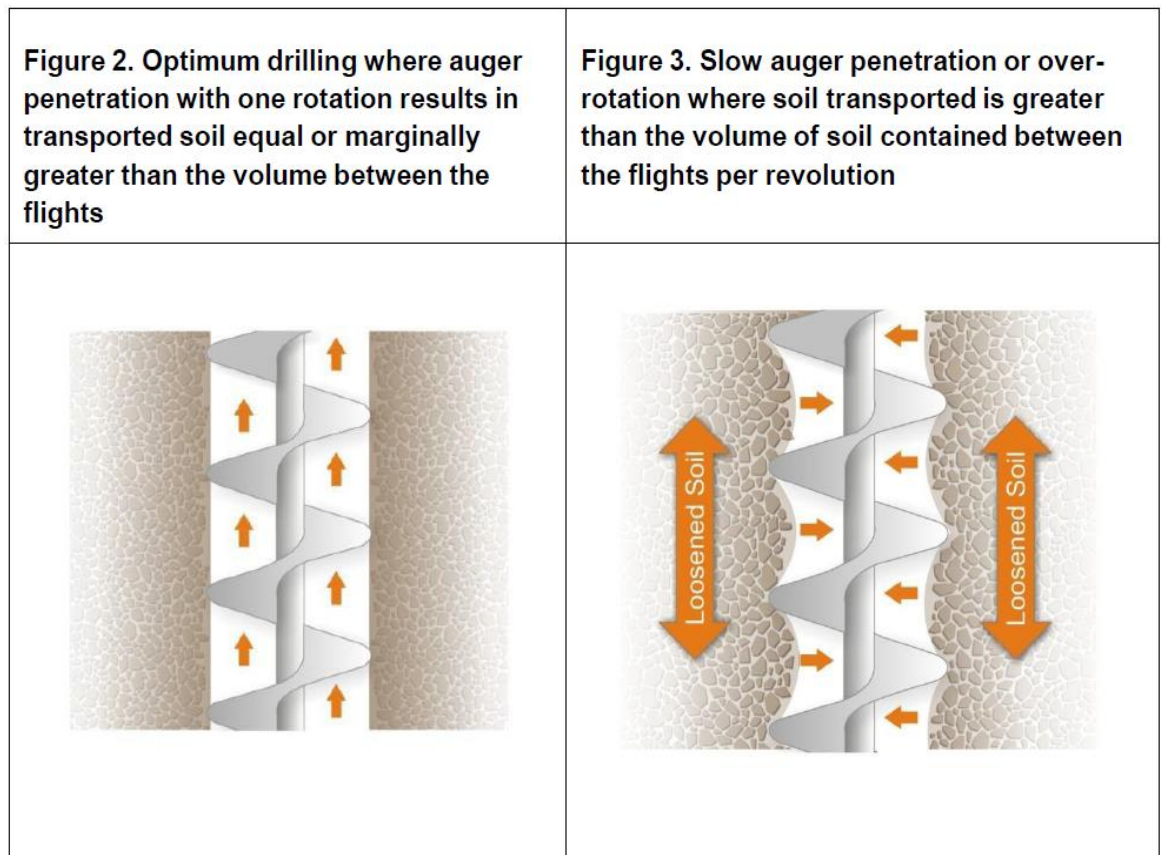
Sekä alas- että ylöspourauksen aikana kairasta pinnalle tulevaa syrjäytyntä maata eli porasoijaa poistetaan kaivinkoneella kairan ympäriltä. Kun kairan alaosa on saavuttanut maanpinnan, lopetetaan betoninpumppaus ja käännetään kaira sivuun. Kaivinkone siirtää ylösnousseen maa-aineksen syrjään. Kun maanpinta on jälleen tasainen, poistetaan vielä varovasti esim. lapiolla vastavaletun paalun pinnan päälle tippunutta maa-ainesta niin, että paalu on selkeästi hahmotettavissa ja näkyvillä on puhdas betonipinta.

Raudoite lasketaan juuri maahan valettuun paaluun nosturin tai paalutuskoneen apuvinssin avulla. Raudoite lasketaan yleensä niin, että raudoitteen pää jää juuri ja juuri näkyviin. Sopivan notkeassa betonissa raudoite saattaa lähteä uppoamaan itseksensä. Raudoitteen paikallaan pysyminen on syytä varmistaa esimerkiksi poikittaisella tangolla, jonka pituus on isompi kuin paalun halkaisija.

Raudoitteen upottamisen jälkeen on syytä välttää raskaita kuormia, esimerkiksi paalutuskoneella ajoa paalun välittömässä läheisyydessä.

3.2 Työnaikaiset riskit

Kairan liian kova pyörimisnopeus suhteessa kaivuunopeuteen tuo ylimääräistä maata ylös, ja saattaa aiheuttaa paalun vaippakantavuuden sekä maan stabiliteetin heikkenemistä (kuva 8). Ongelma saattaa helposti ilmetä, kun kairalla läpäistään kovaa moreenikerrosta, kairan yläosan ollessa pehmeämmässä maa-aineksessa.



Kuva 8. Ylikairaamisen seuraus [Federation of Piling Specialists 2014.]

Ylikaivaminen aiheuttaa maan kantavuuden heikkenemistä paalun läheisyydessä, mikä vähentää paalun vaippakitkaa ja voi johtaa pahimmillaan paalutuskoneen kaatumiseen. Poikkileikkaukseltaan suurempi kaira tuo suuremman riskin ylikaivamisen seurausten suhteen. [Federation of Piling Specialists 2014.]

3.3 Kalusto

CFA-paalutuksessa tarvitaan riittävän iso paalutuskone, joka jaksaa pyörittää kairaa maan sisällä sekä nostaa sitä ylöspäin kierteissä olevan maa-aineksen kanssa [SFS EN 1536+A1: 37]. Kaira on kiinnitetty paalutuskoneen mastossa olevaan hydrauliiikka-moottorilla toimivaan pyörittäjään. Paalutuskoneen maston alapäässä on oltava ohjain, joka tukee kairaa ja pitää sen alapään oikeassa kohdassa.

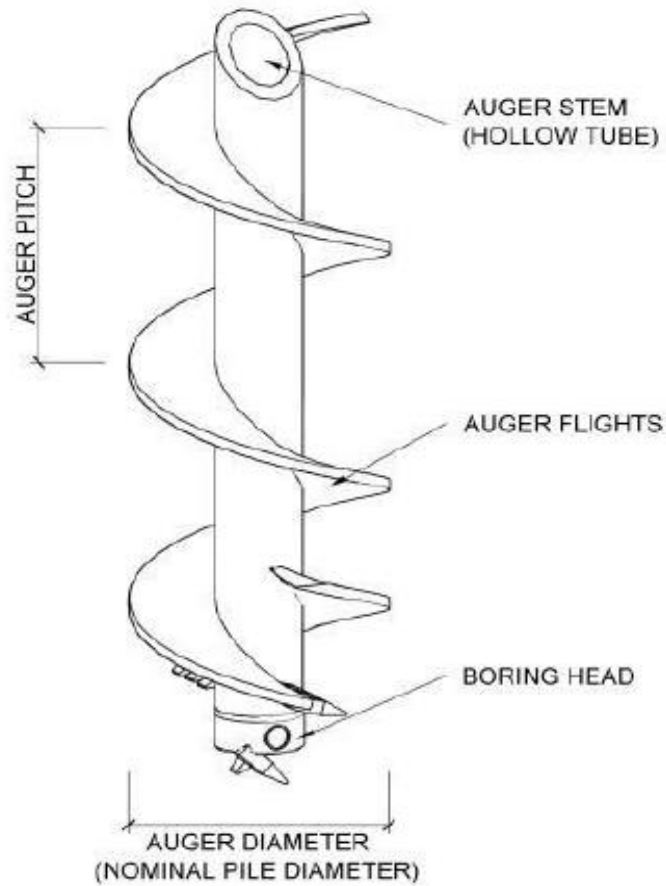
Augerkaira koostuu yleensä useasta palasta. Osien liitokset ovat 6-kulmaisia, ja ne varmistetaan kahdella tapilla (kuva 9). Liitoksessa on tiivisteet, jotta kairan sisään pääsee maa-ainesta eikä vastaavasti betoni pääse kulkeutumaan ulos väärästä kohdasta. Kairan kierteiden on jatkuttava yhtenäisenä kairan koko pituudella. [SFS EN 1536+A1: 36-37.]



Kuva 9. Kairan urosliitos [Santeri Mustonen 2018.]

Alimpana on aloituspala eli startteri (kuva 10.). Se on kairan ylivoimaisesti eniten kuluv osa. Siinä on usein irrotettavat hampaat, jotka voidaan vaihtaa kulumisen tai rikkoontumisen seurauksena. Aloituspalan rakenteen on oltava sellainen, ettei onton kes-

kiosan sisälle pääse kulkeutumaan maa-ainesta. Aloituspalan jatkoksi liitetään tarvittava määrä kierrepaloja, joilla saavutetaan haluttu kairan pituus. [SFS EN 1536+A1: 36-37.]



Kuva 10. Augerkairan rakenne [Federation of Piling Specialists 2014.]

Paalutuskoneen varustuksessa on oltava kairan puhdistin, joka poistaa kairan kierteisiin jääneen maa-aineksen kairan liikkua ylöspäin (kuva 11). Kairaan kiinni jäänyt maa-aines on iso turvallisuusriski. Kairan ollessa ylhäällä kierteistä tippuva maa-aines on hengenvaarallinen kairan läheisyydessä työskenteleville henkilöille.



Kuva 11. Esimerkki kairan puhdistimesta. Kuvassa on käynnissä puhdistimen asennus. [Santeri Mustonen 2018.]

Ylösnousevan maa-aineksen puhdistamiseen kairan vierestä tarvitaan kaivinkone. Noin 15 tonnia painava pienehkö kaivinkone soveltuu tarkoitukseen hyvin. Varustuksena on hyvä olla kauhanpyörittäjä sekä luiskakauha.

Raudotteiden liikuttamiseen sekä nostamiseen saatetaan tarvita erillinen nosturi. Nosturia tarvitaan varsinkin, jos raudotteiden upottamisessa ilmenee tarve täryttimen käytölle. Raudotteet eivät yleensä ole painavia, mutta ulottuvuutta sekä korkeutta usein tarvitaan, joten isommankin nosturin käyttö on perusteltua. Raudotteiden koko sekä työmaalla käytettävissä oleva tila määrittelee hyvin pitkälti käytettävän nosturityypin. Mikäli raudotteet uppoavat hyvin, voidaan nosturin sijasta käyttää paalutuskoneen apuvinssiä raudotteiden käsittelyyn, mikäli se on työmaan logistiikan kannalta mahdollista.

Maaperästä sekä betonilaadusta riippuen tarvitaan hydraulista tärytintä, jolla saadaan raudotteet uppoamaan tavoitesyvyYTEEN. Täryttimessä on oltava tartuntaleuka, jolla saa otettua raudotteesta kiinni. Tärytintä voidaan käyttää erillisellä hydraulikkayksiköllä tai nosturin omalla hydraulikalla.

Betoni pumpataan kairan läpi maahan erillisen betonipumpun tai betonipumppuauton avulla.

3.4 Materiaalit

CFA-paalujen materiaali on yleensä betonia tai teräsbetonia. Kaikkien paalutuksessa käytettävien materiaalien on täytettävä niille asetetut vaatimukset eurooppalaisissa standardeissa.

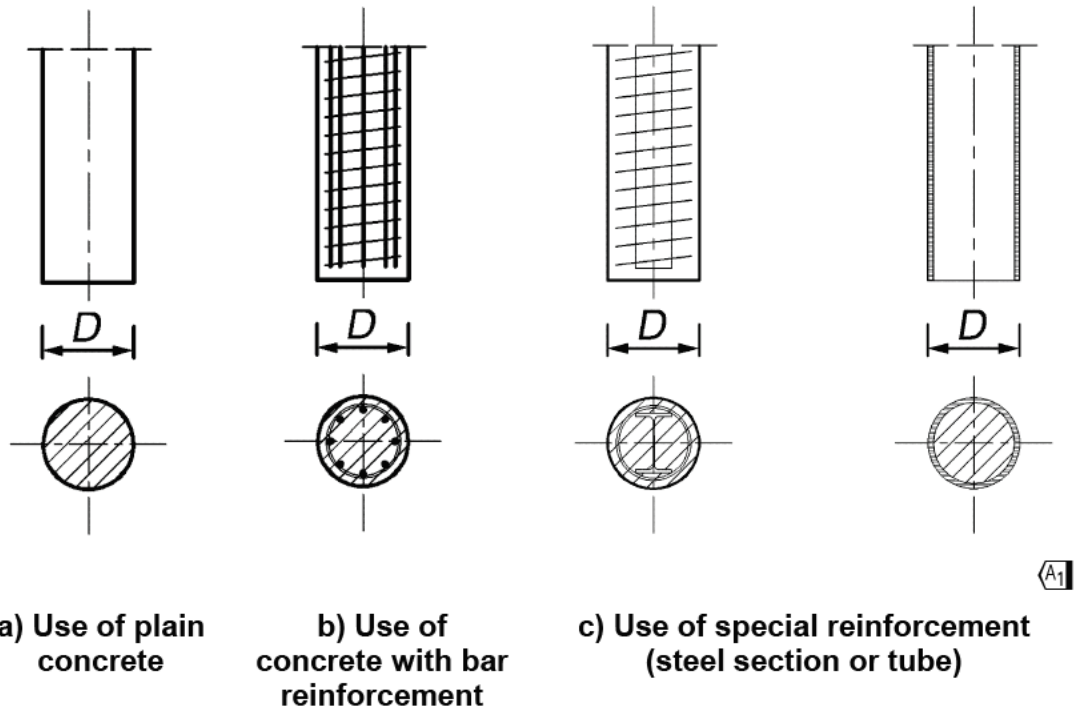
3.4.1 Betoni

Betonin lujuusluokka vaihtelee C20/25 ja C45/55 välillä. Tarvittaessa suurempaakin lujuusluokkaa voidaan käyttää, mikäli rakenteet sitä edellyttää. Betonin ainesosien on oltava standardin SFS-EN 206 mukaisia. [RIL 254-2-2016. 156.]

Betonin on oltava tarpeeksi notkeaa taatakseen hyvä raudoitteen uppoavuus. Liian jäykällä betonilla raudoite saattaa jäädä liian ylös, ja liian kovan täryttämisen takia betoni voi erottua, joka saattaa aiheuttaa ongelmia esimerkiksi paalun lujuudessa.

3.4.2 Rauta

Raudoitteena tavanomaisimpia ovat harjateräksestä tehdyt raudoitekehikot (kuva 12 b). Kehikot kootaan valmiiksi elementiksi tehtaalla tai työmaalla, ja ne upotetaan yhtenäisenä paalun sisälle. Yleensä pystyraudoitteena menevät paksummat harjateräkset, jotka ovat yhdistetty toisiinsa ohuemmilla, pyöreillä tai spiraalimaiseen muotoon taivutetuilla teräksillä. Teräkset ovat yhdistetty toisiinsa hitsaamalla, sitomalla tai liittimillä. Raudoite-elementin on oltava tarpeeksi jäykkä, jotta se ei vaurioidu kuljetuksen, nostamisen tai upotuksen aikana. Tyypilliset vauriot ovat elementin vääntyminen sekä raudoitetankojen irtoaminen sekä liikkuminen [RIL 254-2-2016: 235].



Kuva 12. Vaihtoehtoisia raudoiteratkaisuja. A. Ilman raudoitusta B. Raudoitekehikko C. Erikoisraudoitteet [SFS EN 1536+A1.]

Erittäin pitkien raudoitteiden kohdalla elementtien pystyyn nostaminen voi muodostua ongelmaksi. Tällöin voidaan käyttää useampaa elementtiä, jotka liitetään toisiinsa, kun raudoitteet on saatu nostettua, esimerkiksi raudoitteen laskuvaiheessa. Elementit liitetään toisiinsa tukevasti, jotta raudoitus pysyy yhtenäisenä ja pysyy kasassa vibrattaessa.

Raudoitekehikko on oltava alhaalta kartiomainen, jotta raudoitteen laskuvaiheessa kehikko ei jumitu kaivannon reunoihin ja ohjautuu alas asti. Häkin reunoilla on oltava ohjurit, jotka pitävät kehikon betonivalun keskellä. Ohjureita pitää olla yhdessä tasossa vähintään kolme paalun halkaisijan ollessa alle 1,2 metriä. Tasojen väli saa olla enintään kolme metriä. Tällä taataan riittävä suojaetäisyys betonipeitteen reunasta raudoitteen korroosion estämiseksi. [RIL 254-2-2016: 237.]

Vaihtoehtona on käyttää raudoitteena erikoisraudoitteita, kuten teräsprofiilipalkkia (esim. HEB), joka on helppo upottaa valetun paalun sisään. Palkin etuna on sen jäykkä rakenne ja helppo käsiteltävyys työmaa-alueella.

3.5 Laadunvarmistus

CFA-paalutuksen laadunvarmistuksessa tarkkaillaan materiaaleja sekä työn suoritusta. Laatudokumentteina toimivat mm. materiaalien hyväksynnät, pöytäkirjat ja raportit.

Valmiiden paalujen laatu ja kantavuus voidaan varmistaa koekuormittamalla niitä. Koe-kuormitettavat paalut voivat olla joko varsinaisia perustuspaaluja tai erillisiä koepaaluja. Paalujen koekuormitus tulee suorittaa vasta, kun paalut ovat saaneet riittävän lujuuden. Lujuuden on oltava sellainen, että paalu ei vaurioidu koekuormituksen aikana. [RIL 254-2-2016: 258-262.]

3.5.1 Staattinen koekuormitus

Staattisessa koekuormituksessa paalun kantavuutta testataan kohdistamalla voimaa paalun päähän. Paalua painetaan esimerkiksi hydraulisella tunkilla. Yleisimmät kuormituskokeet ovat portaittaisia ja vakionopeudella tehtäviä. Paalua kuormitetaan, kunnes tapahtuu geotekninen tai paalun rakenteellinen murtuminen. Perustuspaaluilla koekuormituksessa saatu tulos ei saa olla pienempi kuin perustuksesta paalulle kohdistuva mitoituskuorma. [RIL 254-2-2016: 259-261.]

Staattinen koekuormitus on suurpaaluissa harvemmin käytetty, koska paalujen kantavuudet ovat isoja ja vastapainon saaminen tunkille on yleensä hankalaa ja kallista.

3.5.2 Dynaaminen koekuormitus

Dynaaminen koekuormitus tunnetaan usein myös high-strain-menetelmänä tai PDA-mittauksena. Koekuormitus suoritetaan tiputtamalla paalun päälle järkäle, joka muodostaa paaluun iskuaallon. Sen perusteella arvioidaan paalun geoteknistä kantavuutta koekuormitushetkellä. Paaluun kiinnitetään anturit, jotka mittaavat paalussa iskusta syntyvää jännitystä sekä kiihtyvyyttä. Iskuaallon perustella voidaan arvioida myös paalun ehjyyttä. [RIL 254-2-2016: 262-263.] [Liikennevirasto 2016: 7 & 9.]

3.5.3 Monitorointi

Työn aikana syntyvää jälkeä ei suoraan pääse näkemällä tarkkailemaan, sillä tärkein asia tapahtuu maan alla. Nykyään on saatavilla järjestelmiä, joilla pystyy helposti tarkkailemaan käynnissä olevaa paalutusta. Niistä tieto on helposti luettavissa sekä se jää muistiin.

Tasaisen laadun ja paalun jatkuvuuden varmistamiseksi on monitoroinnissa oltava:

- betonin virtaus
- betonin paine
- kaivuun taso
- kairan pyörimisliike.

Mikäli tietokonepohjaista monitorointia ei pysty järjestämään, pitää yllä oleva tieto kerätä manuaalisesti. [SFS EN 1536 + A1: 44-45.]

3.5.4 Betonilaatu

Mikäli betoni on tehty sertifioidun laatujärjestelmän mukaan ja tarkastetun valmistajan toimittamaa, ei betonista tarvitse ottaa näytteitä eikä kokeita työmaalla. Myöskään valmistusreseptiä ei tarvitse dokumentoida. Muussa tapauksessa noudatetaan standardia SFS-EN 13670 sekä työsuunnitelmaa. [RIL 254-2-2016: 157 & 250.]

3.5.5 Raudoitteet

Tyyppihyväksyntää (STF-merkintä), rakennuspaikkakohtainen selvitystä tai FI-merkintää voidaan pitää riittävänä terästen kelpoisuuden osoittajana. Teräksistä kuuluu myös dokumentoida ainestodistukset. [RIL 254-2-2016: 158 & 250.]

4 CASE – Pori Energia

Pori Energian Aittaluodon voimalaitokseen on rakenteilla laajennus, johon tulee uusi biopolttoainekattila. Pori Energia hakee investoinnilla ekologisempaa sähköntuotantoa mm. kasvattamalla biopolttoaineen käyttöä sekä vähentämällä savukaasupäästöjä.

Laajennus tulee olemassa olevan tuotantolaitoksen viereen. Lähimpänä oleva rakennosa on rakennettu 1930-luvulla, ja se on perustettu todennäköisimmin puupaalujen varaan. Rakennuksessa oli havaittavissa painumaeroista aiheutuneita halkeamia.

Maaperä alueella oli hiekkaista, ja noin puolestavälistä tulevaa tuotantolaitosta meni savikerrostuma. Savikerros lähti pinnasta ja syveni kohti työmaan eteläpäätyä, jossa se oli noin 16 metriä. Pohjatutkimuksessa syvin kairaus on ulotettu noin 60 metrin syvyyteen, eikä kalliota havaittu. Erittäin syvällä olevan kallion tai kovan moreenin takia tuki-paaluja ei voinut/ollut kannattavaa toteuttaa.

Lyöntipaalut aiheuttavat tärinää, joten niitä ei ollut sopiva käyttää tiukkojen tärinäarvojen takia vanhan rakennuksen läheisyydessä. Myös esimerkiksi teräsputkipaalujen jatkaminen olisi ollut hidasta. Tilaaja oli alun perin suunnitellut alueelle perinteisiä kaivin-paaluja. Niiden tekeminen on myös hidasta, noin 1-2 kpl per työvuoro. CFA-paaluihin päädyttiin hyvän työtehokkuuden sekä kantavuuden takia.

4.1 Urakan tavoite

Alueelle oli tarkoitus tehdä 204 kpl CFA-paaluja sekä 220 kpl teräsbetonisia lyöntipaaluja. CFA-paalujen halkaisija on 600 mm. Urakan tavoiteaika oli kaksi kuukautta. CFA-paalujen pituudeksi oli arvioitu 20 metriä ja teräsbetonipaalujen 15-17 metriä

4.2 Käytetty kalusto sekä työryhmä

CFA-paalutuskoneena oli Llamada P105-TT (kuva 13). Kyseessä on CFA-käyttöön tarkoitettu kone, jolla pystyy tekemään maksimissaan 24 metriä pitkiä CFA-paaluja halkaisijaltaan 350 mm – 1000 mm. Käytössä ollut kaira oli halkaisijaltaan 600 mm. Se koostui kuuden metrin osista, sekä kaksi metriä pitkistä aloituspalasta.



Kuva 13. Llamada P105-TT CFA-varustuksella [Matias Niemeläinen 2018.]

Kaivinkone oli Volvo EC140DL. Kaivinkone oli varustettu kauhanpyörittäjällä sekä luis-kakauhalla.

Raudoitteiden nostamiseen käytetty nosturi oli Marchetti Sherpa 65.42 L. Kyseessä on tela-alustainen nosturi, jossa on teleskooppipuomi. Pyörä-alustaista ei voitu käyttää kaivannossa olevan pehmeän maaperän takia, ja kaivannon reunalla ei ollut tarpeeksi tilaa pystyttää riittävän isoa nosturia, jossa olisi riittänyt ulottuvuus kaivannon jokaiseen kohtaan.

Tärytin raudoitetta varten oli noin 1000 kg painoinen. Tärytintä käytettiin erillisellä hydrauliiikkayksiköllä. Täryttimen sekä ohjauspöydän välillä oli hydrauliiikkaletkua noin 40 metriä.

Betoni pumpattiin kairaan betonipumppuautolla. Pumppuautoja oli urakan aikana käytössä kaksi erilaista, toinen 36 ja toinen 42 metrin puomilla.

Työryhmään kuului kolme omaa henkilöä: Paalutuskoneen, apukoneen (kaivinkoneen) kuljettaja sekä apumies/hitsari. Näiden lisäksi valtaosan ajasta paikalla oli myös nosturin- sekä betonipumppuauton kuljettaja. Työryhmän koko osoittautui sopivaksi.

4.3 Paalutuksen käynnistys (PDA-mittaus)

Ensimmäisenä paalutuskoneen saavuttua työmaalle se laitettiin työkuntoon. Koneen kasauksen jälkeen se ajettiin kaivantoon. Kaira asennettiin vasta kaivannossa, sillä pitkä kaira nostaa huomattavasti koneen painopistettä ja lisää koneen kaatumisen riskiä. Kairan kasauksen yhteydessä kairan lukitustappien kiinnipysyminen varmistettiin hitsaamalla pienet rautapalat tappien kumpaankin päähän.



Kuva 14. Koepaalun jatkosputken asettelua [Santeri Mustonen 2018.]

Ennen varsinaisen paalutuksen aloitusta tehtiin 8kpl koepaalua. Koepaalujen sijainti jakautui tasaisesti ympäri paalutettavaa aluetta. Paalujen annettiin kovettua noin viikon verran, jonka jälkeen paalujen kantavuus varmistettiin PDA-mittaamalla. Paalut tehdään maanpinnan tasolle, joten niiden mittaaminen on näin mahdotonta. Jotta anturit

saataisiin paaluihin kiinni, paalujen pituutta jatkettiin metallisella putkella (kuva 14). Putken halkaisija oli sama kuin itse paalun eli 600 mm. Putki asetettiin paalun päälle heti kun raudoite oltiin saatu asennettua, jonka jälkeen se täytettiin betonilla. Näin jatkokopalaista tuli yhtenäinen osa paalua. Putki nostettiin paikalleen kaivinkonetta apuna käyttäen, ja se tuettiin alapäästä lyhyillä laudoilla tai harjateräksillä. Valun jälkeen putken kohtisuoruus tarkistettiin ja korjattiin mikäli tarvetta ilmeni.

Valumuottina toimineeseen metalliputkeen poltettiin kolot, jotta anturit saataisiin kiinnitettyä betoniin. Betoniin porattiin reiät, joihin laitettiin lyöntiankkurit. Lyöntiankkureihin kiinnitettiin anturit pulteilla (kuva 15). Paaluun kiinnitettiin neljä jännitystä mittaavaa anturia, sillä paalun $d > 400$ mm [RIL 254-2-2016: 263]. Näiden lisäksi kiinnitettiin kaksi kiihtymäanturia paalun vastakkaisille puolille.



Kuva 15. Anturit kiinnitettynä PDA-mittausta varten. Paalun toisella puolella on samanlaiset anturit. [Santeri Mustonen 2018.]

Paalujen kantavuus PDA-mittausten perusteella osoittautui odotettua pienemmäksi. Paaluista saatujen tuloksien keskiarvo oli 3.123 MN, kun vaatimus oli 3.42 MN. Lisäksi paalujen kantavuudessa esiintyi suuria poikkeamia. Paalutustyön aikaiset havainnot maaperästä vastasivat kuitenkin hyvin pohjatutkimusten tuloksia. Odotettua heikompien kantavuustulosten takia paalujen pituutta päätettiin lisätä kolme metriä, jotta paalujen pituus kantavammassa hiekassa olisi isompi.

Paalujen korottaminen putkella PDA-mittausta varten onnistui toimivaksi ja helpoksi ratkaisuksi. Jatkokset sekä itse paalut kestivät koelyönnit suunnitellusti.

4.4 Työmaaolosuhteet

Työalusta sekä paalujen paikat sijaitsivat noin kahden metrin kaivannossa. Lisäksi paalujen katkaisutaso oli niin ylhäällä, että raudotteiden päät jäivät maasta näkyviin. Tämä vaikeutti työmaan logistiikkaa, sillä telanosturia eikä apukonetta voinut pitää valmiiden paalujen päällä. Paalutusurakoitsijan onkin syytä olla mukana myös edeltävien työvaiheiden suunnittelussa, jotta CFA-paalutustekniikan erityispiirteet osattaisiin ottaa riittävästi huomioon esimerkiksi maarakentamisessa.

Kaivannossa olevien paalujen lisäksi 30 paalua sijaitsi ponttauksen sisällä, mikä toi omat haasteensa. Näissä paaluissa raudotteet pystyttiin upottamaan kuitenkin maan sisälle. Paalut piti tehdä niin, että paalutuskone on ponttien sisäpuolella. Paaluja ei pystynyt tekemään montaa kerrallaan, jotta maa ei sortuisi painavan paalutuskoneen alla kovettumattoman betonin takia.

4.5 Paalutuksen aikainen monitorointi

Paalutuksen aikana työn tulosta sekä laatua tarkkailtiin erillisellä NDTecology- laitteistolla. Laitteisto on integroitu osaksi paalutuskoneen järjestelmää. Sillä pystyttiin tarkkailemaan mm. betonin virtausnopeutta ja pumppauspainetta tietyllä korkeudella, ylösnoston nopeutta, kairan kierrosnopeutta ja paaluun käytettyä aikaa. Paalutustyöstä syntyvä paalukohtainen esimerkkiraportti on esitelty liitteessä 1.

Paalutuskoneessa oli CFA-käyttöön tarkoitetut mittarit, jotka mittasivat betonin virtausta sekä painetta (kuva 16). Betonin virtausmittarin ongelmaksi muodostui betoniauton betonipumpun suuri iskuilavuus, ja sitä myöten pieni iskujen määrä suhteessa betonin virtaukseen. Anturit kaipasivat enemmän betonipumpun iskuja per minuutti, jotta ne toimisivat luotettavasti. Laitteisto on suunniteltu pienehköille pumpuille, jotka ovat yleisessä käytössä Euroopassa. Pienemmillä pumpuilla paineiskuja tulee tiheämmin.



Kuva 16. Paalutuskoneen betonilinjaan asennettuja antureita [Santeri Mustonen 2018.]

Antureista saatiin kuitenkin tietoja ulos lisäämällä betonin pumppausnopeutta sekä kairan ylösnostonopeutta, mutta laitteiston toiminta ei osoittautunut niin luotettavaksi, että dokumentointi olisi jätetty sen varaan. Digitaalisen monitoroinnin lisäksi pidettiin käsikirjanpitoa hyvän laadun varmistamiseksi.

4.6 Poraus

Yhden 23 metriä pitkän paalun alasporaus sekä pieni kairan nosto ennen betonoinnin aloitusta kesti yhteensä noin 10 minuuttia.

Porauksessa ei ilmennyt maaperästä johtuvia ongelmia. Maaperässä ei ollut kiviä tai muita kovia esineitä, jotka olisivat haitanneet kairan tunkeutumista. Kaikkien 4601:n porattujen metrien aikana käytettiin koko ajan samaa kärki/aloituspalaa. Työmaan lopussa siinä oli kuitenkin selvästi havaittavissa kulumaa, joten ennen seuraavaa työrupeamaa se tarvitsee kunnostusta.

Maaperän kairattavuus oli hyvin samanlainen koko paalun matkalla. Pehmeässä savessa kaira ikään kuin veti itseään maan sisälle ruuvimäntä tavoin. Hiekkaisessa maassa kairan tunkeutumista autettiin paalutuskoneen alasetovaijerilla, jotta kairan tunkeutuvuus säilytettäisiin.

Työmaata lähimmässä rakennuksessa asennetut kaksi kalibroitua InstanTel Minimate Plus -tärinämittaria eivät havainneet tärinää porauksen eikä minkään muun työvaiheen aikana. Myös työmaan hiljaisuus sai kiitosta kyseisen rakennuksen työntekijöiltä.

4.7 Betonointi

Betonointi suoritettiin C30/37 betonilla. Betonin suurin raekoko oli 12 mm ja siinä käytettiin SR-sementtiä. Suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta. Kovien helteiden (27-33 °C) aikana betonissa käytettiin hidastinta. Mustat betoniletkut olivat auringossa erittäin kuumia, ja betoni rupesi jähmettymään letkuihin ilman hidastimen käyttöä.

Paaluille tehtiin koe lämpötilatarkkailun ja lujuudenkehityksen arvioimiseksi. Paalun raudoitteeseen asennettiin kolme lämpötila-anturia. Yksi raudoitteen alapäähän, yksi keskelle ja kolmas yläosaan. Näin pystyttiin tarkkailemaan lämpötilaa ja arvioimaan paalun lujuudenkehitystä maanpinnan alapuolella. Tulokset ovat nähtävissä Liitteessä 2.

4.8 Raudoituksen upotus

Raudoitteiden pituudet olivat 6 m, 12 m, 15 m sekä 18 m. Raudoitteen halkaisija oli 420 mm. Osuudelle missä oli savikerrostuma tuli pidempi raudoite. Elementit olivat yksiosaisia kaikissa muissa paitsi 18 metrin raudoitteissa. 18 metrin elementtien nostaminen suoraan maasta ei onnistunut ilman raudoitteen vääntymistä. Ne jatkettiin 15 metrin raudoitteista asettamalla ensin lyhyt kärkipala valuun, jonka jälkeen 15 m elementti asetettiin lyhyemmän palan sisään. Kun raudoite-elementit olivat sisäkkäin, limittyvät pääteräkset kiinnitettiin toisiinsa vaijerilukoilla, jotta raudoite pysyisi yhtenäisenä upotuksen sekä täryttämisen ajan. Limittämällä voi olla järkevää jatkaa myös lyhyempiä raudoite-elementtejä, jolloin nostamisen aikana tapahtuva vääntyminen on epätodennäköisempää. Jatkosten liittäminen toisiinsa limittämällä ja vaijerilukoilla todettiin kaikista nopeimmaksi ja helpoimmaksi tavaksi jatkaa raudoitteita.

15 metrin raudoitteita vahvistettiin hitsaamalla poikittaisteräkset kunnolla kiinni. Ilman vahvikehitausta tehtaen hitsaukset pettivät raudoitehakin alapäässä, kun raudoitetta nostettiin pystyyn. Vahvemmat hitsaukset pitivät myös raudoitteen paremmin suorana.

Raudoitteet asennettiin paikalleen ensin omalla painolla. Mikäli raudoite ei saavuttanut tavoitesyvyyttä omalla painolla, sen päästä otettiin täryttimellä kiinni, jolloin raudoite saatiin uppoamaan tavoitesyvyyteen. Lähes jokaisessa paalussa jouduttiin käyttämään tärytintä, jotta raudoite saatiin uppoamaan haluttuun syvyyteen.

4.9 Paalun yläpää

Ponttiseinän sisällä olevat 30 paalua tehtiin ylipitkinä. Maan pinta oli noin 1,5 metriä korkeamana kuin paalujen katkaisukorko. Paalujen ympäriltä poistettiin maa-aines, jolloin noin kaksi metriä paalun yläpäästä tuli näkyviin (kuva 17). Silmämääräisesti paalut vaikuttivat hyvältä. Paalujen yläpäissä oli havaittavissa valun epäonnistumista, mutta se oli odotettavissa eikä vaikuttanut työn lopputulokseen. Asia on kuitenkin syytä huomioida, mikäli paalujen tekeminen suunnitellaan niiden katkaisukorkeudesta.

Valun epäonnistuminen johtuu todennäköisesti maa-aineksen sekoittumisesta betoniin valun yläpäässä. Paalun yläpää siistitään ennen raudoitteen upottamista, mutta tämä ei takaa onnistumista niin kuin alla olevasta kuvasta käy ilmi. Kairan ollessa paalun yläpäässä pumpattaessa betonipainetta ei ole tai se on hyvin vähäinen, sillä pumpattava betoni karkaa pinnalle.



Kuva 17. Esiin kaivetut paalut. [Santeri Mustonen 2018.]

Paalutuksen valmistuttua maamassat paalujen välistä kaivettiin pois, ja kaivannon pohja tasoitettiin murskeella tulevaa työbetonia varten. Paalut katkaistiin raudoitteiden suunnitellun yläpään tasolta. Raudoitteet piikattiin esiin 70 cm matkalta betonitartuntaa varten (kuva 18). Näin saatiin myös itse paalu oikeaan korkoon.



Kuva 18. Paalut katkaistuna oikeasta korosta sekä raudoitteet piikattu esiin [Santeri Mustonen, 2018.]

Muulla alueella maanpinta oli vain 15 cm paalujen katkaisukorkoa ylempänä. Tästä johtuen raudoitteet laskettiin suoraan oikeaan korkoon. Paalutuksen valmistuttua ylimääräinen 15 cm maakerros poistettiin, ja paalujen yläpäät siistittiin piikkaamalla (kuva 19.).



Kuva 19. Ylimääräinen maa-aines poistettu ja yläpäiden siistiminen käynnissä [Santeri Mustonen 2018.]

Yläpäiden siistimisellä varmistetaan perusrakenteen kuorman siirtyminen tasaisesti koko paalun pinta-alalle sekä yhtenäinen rakenne.

4.10 Työsaavutus

Alueelle toteutettiin kaikkiaan 207 kappaletta CFA-paaluja, joista erillisiä koepaaluja oli 8 kappaletta. Lukumäärä nousi alkuperäisestä suunnitelmasta kolmella paalulla. Lisäpaalut sijoitettiin kohtiin, joissa tulevat rasitukset ovat isoimpia kantavuuden varmistamiseksi.

Työ valmistui aikataulussa. Työhön kulunut aika selviää taulukosta 1. Kuluneeksi ajaksi lasketaan kaikki työryhmän työmaalla vietetty aika, koneen purkamisesta koneen kasaukseen. Ennen työmaata hallilla tehtyjä valmisteluja ei ole huomioitu työsaavutukseen. Työryhmän työmaalla käyttämä aika oli yhteensä 339 tuntia.

Taulukko 1. Työsaavutus

	Toteutunut lukumäärä
Työsaavutus paalu/tv	4,88
Työn kesto vko. (5tv/vko)	7
Työn kesto kk. (4vko/kk)	1,75

Tarkastellaan myös työvuoroja suhteessa paalumäärään ja paalumetreihin (taulukko 2).

Taulukko 2. Työvuorojen määrä suhteessa työtulokseen

	Työvuoroa
Per paalu	0,205
Per paalometri	0,028

Paalutuksen tuotantoa haittasi muun muassa odotettua heikommät PDA-mittaustulokset ja niistä johtuvat uusien suunnitelmien odottaminen, raudoituselementtien lievät toimitusvaikeudet sekä paalutusalueen sijainti kaivannossa. Mikäli edellä olevia ongelmia ei olisi ollut, arvioisin mahdolliseksi työsaavutukseksi jopa 6-7 paalua/työvuoro.

5 Tulokset

Työn tarkoituksena oli kerätä tietoa CFA-paalutuksen toteutuksesta sekä laadunvalvonnasta. Menetelmästä saatiin luotua työkuvaus, jolloin paalutustyyppiin perehtymätönkin saa hyvän kuvan, mitä asioita kannattaa ottaa huomioon paalutuksen aikana.

Tutkimuksen aikana saatiin runsaasti tietoja ja käytännön kokemusta CFA-paalutukseen liittyen. Työmaan aikana tuli vastaan muuttujia, jotka opettivat ongelmanratkaisukykyä, sekä motivoivat kehittämään ratkaisuja paalutustyön edistämiseksi. Työstä saatu kokemus oli erittäin tärkeä.

CFA-paalutuksen todettiin olevan nopea keino tehdä suurläpimittaisia paaluja isoille kantavuuksille. Myös menetelmän vahvoihin puoliin kuuluva pieni meluaste sekä tärinättömyys osoitettiin pitävän paikkansa. Pienellä varauksella on kuitenkin suhtauduttava paaluista saataviin kantavuuksiin, varsinkin kun kyseessä on kittkapaaluja, sillä koekuormituksesta saadut tulokset eivät olleet niin korkeita ja tasaisia kuin odotettiin. Koepaalutukselle on syytä varattava riittävästi aikaa, jotta tarvittaviin muutoksiin on aikaa reagoida.

6 Yhteenveto

CFA-paalutusmenetelmä on Suomessa vähän käytetty, mutta se pystyy selkeästi osoittamaan hyvät puolensa myös Suomessa edellyttäen, että maaperä on CFA-paalutukselle sopiva. Tässä työssä käsitellyn Porin urakan kaltaiset maaperät ovat kuitenkin Suomessa melko harvinaisia, joten todellista kilpailijaa lyönti- tai porapaalutukselle menetelmästä ei siltikään ole. Työstä saadun kokemuksen ja tiedon perusteella CFA-paalutusta on kuitenkin jatkossa helpompi tarjota, mikäli menetelmän käyttö kohteessa on varteenotettava vaihtoehto. Tulevaisuudessa rakentaminen tiivistyy entisestään, joten tärinättömälle paalutustyypille löytyy varmasti käyttöä.

Lähteet

- RIL 254-2016, Paalutusohje 2016, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Suomen Geoteknillinen Yhdistys SGY ry
- SFS EN 1536 + A1 Execution of special geotechnical work. Bored piles. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki, 2015. 82p
- German Geotechnical Society DGGT. 2013. Recommendations on Piling (EA-Pfähle). Saksa: Wilhelm Ernst & Sohn
- Martti Rantamäki – Markku Tammirinne. 2000. Pohjarakennus. Helsinki: Otatieto. 11. Muuttumaton painos
- Raimo Jääskeläinen, 2009. Pohjarakennuksen perusteet. Tampere: Tammertekniikka
- Paweł Więclawski, 2012. Polish experience in the assessment of pile bearing capacity and settlement of the pile foundation. Tieteellinen julkaisu. Research Gate
- SSAB. 2018. RR- ja RD-paalut – Suunnittelu- ja asennusohjeet. Turku.
- Jouko Lehtonen. 2006. Perustusten Vahvistaminen – Näkymätöntä korjaustyötä.
- Liikennevirasto. 2016, Paalujen dynaaminen koekuormitus ja ehjyysmittaus. Liikenneviraston ohjeita 31/2016. Helsinki. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2016-31_paalujen_dynaaminen_web.pdf
- GDL, <https://grounddevelopments.co.uk/piling/cfa-piling/> Luettu 20.3.2019 (CFA-kuva)
- Ilmi Solutions, <https://ilmi.fi/products/ilmi-uppoporasovellukset/> Luettu 10.4.2019 (DTH-kuva)
- Liebherr, <https://www.liebherr.com/shared/media/construction-machinery/deep-foundation/content/liebherr-kelly-drilling-unverrohrt.jpg> Luettu 25.3.2019. (Kelly-kuva)

NDT-monitoroinnin raportti

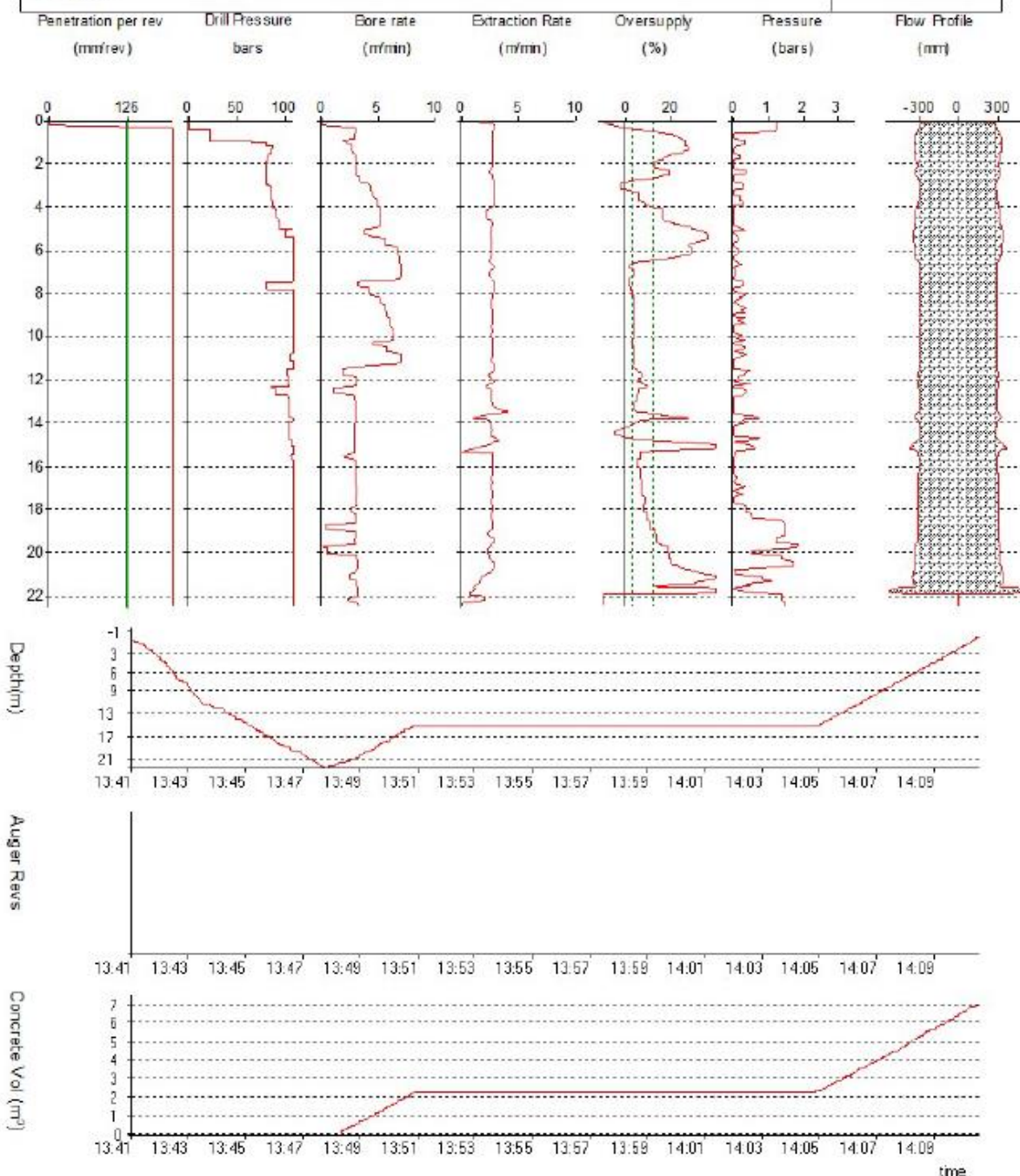
Paalutuksesta syntyvä tieto siirtyy automaattisesti NDT:n pilvipalvelimelle, josta paalutusta voi seurata ja tarkastella. Palvelimelta voi hakea paaluja tarvittavan kriteerin mukaan, esimerkiksi päivämäärän. Tehdystä paalusta tallentuneita tietoja pystyy tarkastelemaan paalukohtaisista raporteista. Esimerkkiraportin näet seuraavalla sivulla olevasta kuvasta. Valitettavasti kairan pyörimistieto ei kyseisessä paalussa ollut käytössä.

Raportin yläreunassa näkyy paalun perustiedot. Näitä ovat mm. paalun numero, pituus, halkaisija, käytetty betonimäärä ja paljonko teoreettinen tilavuus on ylitetty.

Pystykuvaajissa näkyy tapahtumia paalun syvyyden suhteen. Ohjelma tietää kairan alapään sijainnin, jonka avulla se pystyy luomaan kyseiset kuvaajat. Betonin virtauskuvaajan avulla voidaan arvioida paalun toteutunutta poikkileikkausta.

Poikittaisista kuvaajista pystyy tarkastelemaan kairan syvyyttä, kairan pyörimiskierroksia sekä pumpattua betonia ajan suhteen. Kuvaajissa näkyy pitkä viiva välillä 13.51 ja 14.05. Tämän aikana paalun betonointia ei tapahtunut. Syy on todennäköisesti betonin vaihdossa. Lisäksi voidaan olettaa, että uusi betonauto ei ollut valmiina odottamassa, sillä muuten auton vaihto olisi tapahtunut nopeammin.

NDT					/08/2018
STOCKPORT, 123 SMITH ST			Contract Number: EXAMPLE		
Length 22.44 m 600 mm 5 inch NUB	Revs 0 Energy 0 MJ	Vol: 6.95 m ³ Excess: 9.54 %	Rig: P105TT Operator: KT		



DESTIA	PL3000/GFA Piling Instrumentation Monitoring & Control System
	NDTechnology Ltd

BetoPlus-laskelma. Betonoinnin lämpötilatarkkailu ja lujuudenkehitys

Kokeen suoritti Rudus Oy. Kokeessa käytettiin BetoPlus-laskentaohjelmaa. Ensimmäisessä taulukossa näkyy lämpötila-arvot, ja toisessa puristuslujuuden kehitys.

