



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KOEPAALUTUKSEN VAIKUTUKSET SUURESSA HANKKEESSA

TEKIJÄ: Jyri Hyvönen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Jyri Hyvönen	
Työn nimi Koepaalutuksen vaikutukset suuressa hankkeessa	
Päiväys 2.5.16	Sivumäärä/Liitteet 24/2
Ohjaaja(t) Juha Pakarinen tuntiopettaja	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Oma aihe	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli pohtia paalutustyötä edeltävän koepaalutusvaiheen merkitystä, sekä vaikutuksia suuren kokoluokan hankkeessa. Tarkoituksena oli tarkastella koepaalutuksen vaikutuksia hankkeen eri vaiheisiin ja kustannuksiin, sekä pohtia miten erilaisia riskejä voisi välttää. Työn esimerkkikohteena oli Metsä Groupiin kuuluvan Metsä Fibren biotuotetehtaan työmaa Äänekoskella, jossa opinnäytetyön tekijä oli kesätöissä paaluperustusten mittamiehenä.</p> <p>Työn teoriaosa käsiteltiin paalutusta yleisesti lyöntipaalutuksen, porapaalutuksen, paalutuskaluston ja paalutustyön osalta. Ennen varsinaista paalutusta koepaalutus on lähes välttämätön kohteissa, joissa paaluja asennetaan suuria määriä tai maaperä vaihtelee paljon. Koepaalutuksella on tärkeä merkitys maaperätutkimusten ohella paalutuksen suunnittelussa. Paalutustyötä koskevia ohjeita ja vaatimuksia on koottu Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry:n Paalutusohjeeseen PO-2011, jota hyödynnettiin työssä. Työn esimerkkikohteessa ilmeni hyvin paalutuksessa esiintyviä haasteita sekä koepaalutuksen ja suunnittelun tärkeys.</p> <p>Yhteenvedon pohdittiin miten riskejä voitaisiin välttää. Esimerkkikohteen paalutuksen suunnittelu ja toteutus olisi vaatinut kattavamman koepaalutuksen ja siten resursseja olisi voitu arvioida paremmin.</p>	
Avainsanat Koepaalutus, paalutus, paalutustyö	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Jyri Hyvönen			
Title of Thesis The effects of test piling in large project			
Date	2 May 2016	Pages/Appendices	24/2
Supervisor(s) Mr Juha Pakarinen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Own subject			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to study the importance and effects of the test piling stage preceding the actual pile driving in a large range project. The idea was to explore the effects of test piling on the costs and different stages of the project as well as to evaluate how various risks could be avoided. The project was carried out on the construction site of Metsä Fibre bioproduction mill.</p> <p>The theoretical part of the thesis dealt with pile driving in general in terms of precast piling, bored piling, pile driving equipment and the piling work. Before proper piling, a test piling is almost essential on sites where plenty of piles are installed or the soil fluctuates a lot. Together with site investigation, test piling is an important part of piling planning. The PO-2011, published by Suomen Rakennusinsinöörien Liitty RIL ry (Finnish Association of Civil Engineers), including the instructions and requirements for pile driving was utilized in the thesis. The thesis also discussed the challenges of pile driving and the importance of test piling and planning on this particular site.</p> <p>As a result, the planning and execution of pile driving on the site would have demanded extensive test piling. Then, the resources could have been estimated better.</p>			
Keywords Test piling, piling, pile-driving			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	PAALUTUS	6
2.1	Lyöntipaalaus	6
2.1.1	Paalutustyöluokat	7
2.1.1	Teräsbetonipaalu	8
2.1.2	Teräspuutkipaalu	9
2.2	Porapaalaus	10
2.3	Paalutuskalusto.....	11
2.4	Paalutustyö	13
2.5	Koekuormitukset.....	14
3	KOEPAALUTUS	15
3.1	Koepaalutuksen lähtökohdat.....	15
3.2	Koepaalutuksen merkitys hankkeelle	16
3.2.1	Taloudelliset edellytykset.....	16
3.2.2	Tuotannosuunnittelu	17
3.2.3	Aikataulun suunnittelu	17
4	ESIMERKKIKOHDE.....	18
4.1	Kohdetiedot.....	18
4.2	Haihduttamon koepaalutukset	19
4.3	Koepaalutuksen vaikutukset kohteessa	20
5	POHDINTA.....	21
5.1	Keinoja riskien minimoimiseen	21
5.2	Yhteenveto.....	21
	LÄHTEET	22
	LIITE 1: POHJATUTKIMUSKARTTA.....	23
	LIITE 2: POHJATUTKIMUSLEIKKAUS D-D	24

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee varsinaisen paalutustyön edeltävää koepaalutusvaihetta ja koepaalutuksen vaikutuksia suuren hankkeen näkökulmasta tarkasteltuna. Idea tähän työhön tuli ollessani kesätöissä mittamiehenä Äänekosen biotuotetehtaan paaluperustusten työmailla, jonka aikana kiinnostus heräsi aiheeseen. Työn tarkoituksena on tarkastella koepaalutukseen ja sen ympärille huomiota otettavia asioita, jotka korostuvat erityisesti suuressa laaja-alaisessa hankkeessa. Työssä pohditaan koepaalutuksen merkitystä varsinaiseen paalutustyöhön muun muassa taloudellisuuden ja suunnittelun näkökulmasta. Tämän työn tavoitteena on myös pohtia miten koepaalutuksen riskejä voisi välttää, jotta saataisiin laadittua laadukkaat suunnitelmat, lähtökohdat olisivat hyvät varsinaiselle paalutustyölle ja työ sujuisi suunnitelmien mukaisesti. Työ tehdään tarkastelemalla esimerkkikohteesta saatavia tietoja ja tuloksia.

Opinnäytetyön ensimmäinen osio käsittelee paalutusta työmuotona yleisesti sekä tarkastellaan yleisimpiä paalutustyömenetelmiä, joita käytettiin myös tämän työn esimerkkikohteessa Äänekoskella. Toinen osio käsittelee koepaalutusvaihetta ja sen vaikutuksia hankkeeseen. Kolmannessa osiossa esitellään työn esimerkkikohte Äänekosken biotuotetehtaalta, sekä tarkastellaan siinä esiintyneitä haasteita ja vaikutuksia paalutuksen näkökulmasta. Neljännessä osiossa pohditaan tuloksia.

2 PAALUTUS

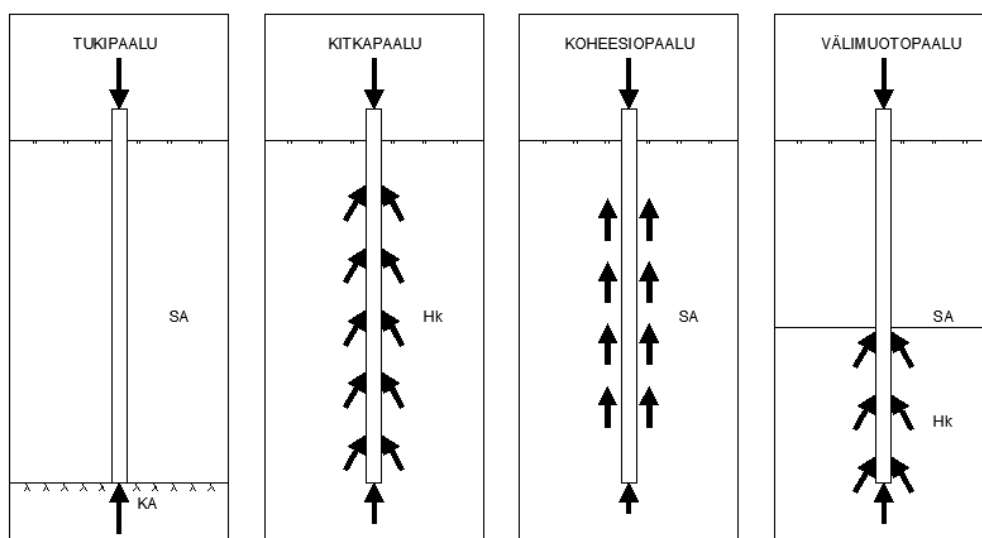
Paalutus on perustustapa, joka mahdollistaa raskaidenkin rakennusten tukevat ja liikkumattomat perustukset maan varaan myös heikommin kantaville maa-alueille. Paaluperustusten käyttö on yleistynyt runsaasti ja kehitystä tapahtuu koko ajan. Tämä mahdollistaa rakentamisen lähes minne tahansa sijainniltaan halutuille alueille, joita ennen välteltiin huonojen pohjaolosuhteiden vuoksi. Yleistyminen ja kehitys ovat tuoneet myös kilpailua paaluntoimittajien ja urakoitsijoiden kesken, joten paalutus on koko ajan kilpailukykyisempi vaihtoehto myös siellä missä paalutus ei olisi välttämätöntä. (Jääskeläinen 2009, 52.)

Tässä opinnäytetyössä ei tarkastella kaikkia paalutyyppejä, vaan yleisimmät paalutyypit, joita käytettiin myös Äänekosken biotuotetehtaan perustuksissa. Paalutustyötä ei tarkastella työsuorituksena, vaan laadun näkökulmasta. Käsiteltävät paalutyypit ovat teräsbetonista valmistetut lyöntipaalut, teräsputki- ja teräspalkkipaalut, sekä teräksestä valmistetut porapaalut, joista kerrotaan seuraavaksi tarkemmin.

2.1 Lyöntipaalutus

Lyöntipaalutus on yleisimmin käytetty paalutusmenetelmä ja sitä on käytetty jo vuosikymmeniä perustusten tekemiseen. Lyöntipaalut lyödään maahan nimensä mukaisesti erilaisilla lyöntilaitteilla. Erilaisia paalumateriaaleja ovat puu, teräs ja teräsbetoni. Tässä työssä ei kuitenkaan käsitellä puupaaluja.

Lyöntipaalut voidaan jaotella eri toimintatapojen perusteella neljään eri tyyppiin. Paalutyypit ovat tukipaalu, kitkapaalu, koheesiopaalu sekä välimuotopaalu. (kuva 1) Tukipaalu tukeutuu kärkiosallaan kantavaan kerrokseen tai suoraan kallioon. Kitkapaalu hyödyntää paalun vaipan alan ja ympäröivän maan välistä kitkaa, sekä osittain kärjen tuennalla kantaakseen kuormat. Koheesiopaalu käytetään koheesiomaassa ja paalu hyödyntää paalun vaipan ja ympäröivän maan välistä koheesiota aiheutuvaa tukea. Välimuoto nimitys käytetään koska paalut ovat yleensä toiminnaltaan yhdistelmä tuki-, kitka, tai koheesiopaaluja. (Rantamäki ja Tamminne 2006, 42.)



Kuva 1. Paalutyypit (Jääskeläinen 2009)

2.1.1 Paalutustyöluokat

Paalutustyöluokka on toteutuksen huomioiva luokitus. Paalun rakenteessa tulee huomioida paalutustyötapahtuman lisäksi kohteen ominaisuudet, joita kuvataan seuraamusluokan ja geoteknisen luokan avulla. (PO-2011, 28 - 29.)

Taulukko 1. Paalutustyöluokat PTL1, PTL2 ja PTL3 tavanomaisessa rakentamisessa. (PO-2011, 100.)

Geotekninen luokka	Seuraamusluokka (SFS-EN 1990)		
	CC1	CC2	CC3
GL1*	PTL1...(PTL3)	PTL2...(PTL3)	PTL2...(PTL3)
GL2	PTL1...(PTL3)	PTL2...(PTL3)	PTL3
GL3	PTL2...(PTL3)	PTL2...(PTL3)	PTL3

*ei ole yleensä paaluttamista edellyttävä kohde

Geotekniseen luokkaan 1 kuuluvat rakenteet:

- *joissa perusvaatimusten täytyminen voidaan varmistaa kokemuksen ja kvalitatiivisten geoteknisten tutkimusten avulla*
- *joista ei aiheudu merkittävää riskiä.*

Geotekniseen luokkaan 2 kuuluvat rakenteet:

- *joissa vaaditaan tavallisesti kvantitaavisia geoteknisiä lähtötietoja ja analyysejä, jotta voidaan varmistua siitä, että suunnittelun perusvaatimukset täyttyvät*
- *joihin ei liity tavanomaisesta poikkeavia riskejä tai epätavallisia tai erikoisen vaikeita pohja- tai kuormitusolosuhteita.*

Geotekniseen luokkaan 3 kuuluvat:

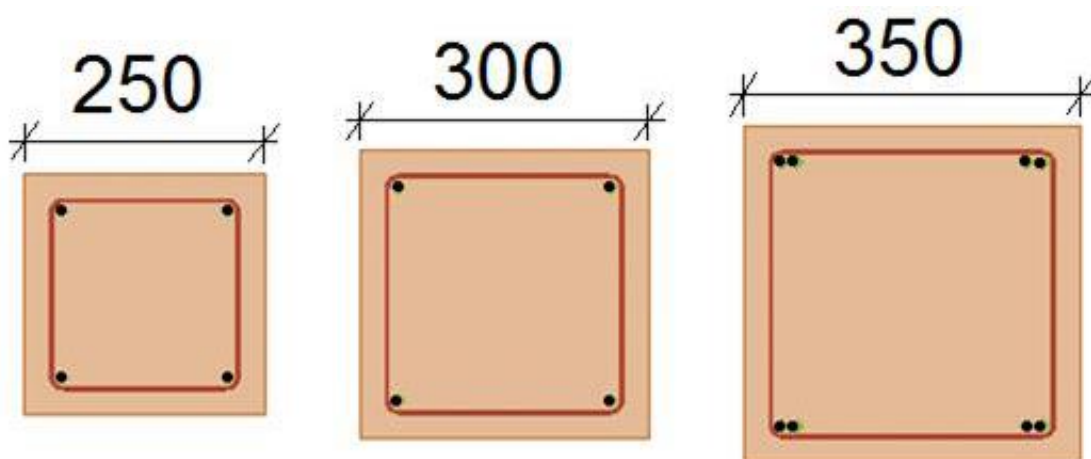
- *erittäin suuret tai epätavalliset rakenteet*
- *rakenteet, joihin liittyy normaalista poikkeavia riskejä tai joissa on epätavallisen tai poikkeuksellisen vaikeita pohja- tai kuormitusolosuhteita*
- *rakenteet alueilla, missä todennäköisesti riittämätön vakavuus tai jatkuva maapohjan liikkuminen edellyttävät erillisiä tutkimuksia tai erityistoimenpiteitä.*

Kulloinkin sovellettavan geoteknisen luokan harkitsee vastaava pohjarakennesuunnittelija. Erittäin vaativia pohjarakennuskohteita (GL3) voivat olla mm. seuraavat tapaukset:

- *rakennus perustetaan eloperäisen maan varaan*
- *rakennuksessa on pohjavedenpinnan tai naapurirakennusten perustusten alapuolelle ulottuvia tiloja*
- *rakenteisiin kohdistuu dynaamisia tai muuten poikkeuksellisia kuormia tai niille astetaan erityisiä vaatimuksia*
- *rakenteisiin käytetään uusia suunnittelumenetelmiä tai materiaaleja taikka käytetään muita kuin tavanomaisia pohjarakennusmenetelmiä*
- *rakenteet perustetaan tätä tarkoitusta varten suunnittelelmattomalle täyhteelle tai täyhteelle, jota ei ole tiivistetty kerroksittain*
- *rakennuksen perustuksia vahvistetaan tai korjataan tai rakennus suunnitellaan rakennuspaikalle, jonka maaperä sisältää pilaantuneita maa-aineksia-*
- *paalutusalueella on häiriintymisherkkiä maakerroksia*
- *paalutustyö tehdään vesialueella*
- *paalujen tukeutumiskerroksena on paksu lohkarainen moreeni*
- *paalutusalueella on syviä (>3 m) kaivantoja*
- *paalutusalueella on suuria työnaikaisia kuormia*
- *paalutusalueen vakavuus on huono*
- *paaluun tai paaluryhmään kohdistuu huomattavia veto- tai poikittaiskuormia*
- *käytetään yksittäisten paalujen perustuksia. (PO-2011, 28 - 29.)*

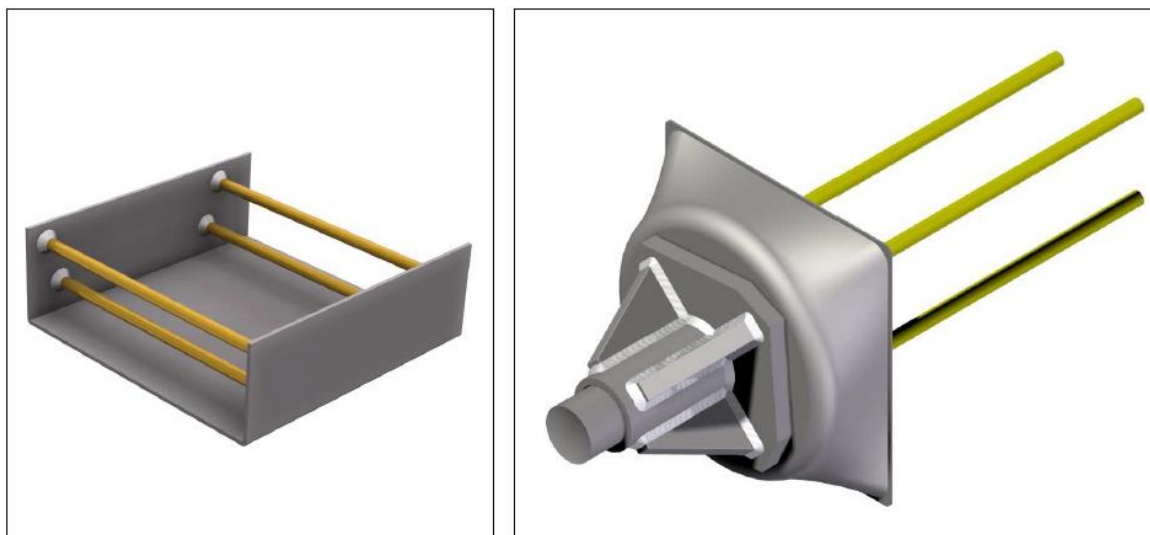
2.1.1 Teräsbetonipaalut

Teräsbetonipaalut ovat paljon käytetty paalutusmenetelmä ja se sopii vaihteleville rakennusalueille. Tyypillisimmät teräspaalujen poikkileikkaukset ovat: 250 mm x 250 mm, 300 mm x 300 mm, joka on yleisimmin käytetty paalukoko, sekä 350 mm x 350 mm. (kuva 2) Teräsbetonipaalut valmistetaan tehtaissa ja paalujen täytyy olla hyväksytyjä ja niiden on täytettävä laatuvaatimukset, jotka löytyvät lyöntipaalutusohjeista. Paaluista on löydettävä tiedot valmistajasta, valmistuspäivämäärä, pituus, paino, tyyppi sekä hyväksyntä merkki. Tietoja tarvitaan työmailla esim. oikean paalun valintaan sekä nostojen painorajoihin. (Jääskeläinen 2009, 53 - 57.)



Kuva 2. Teräsbetonipaalujen poikkileikkaukset

Teräsbetonipaalun kärkiosa täytyy suojata paalun rikkoontumisen estämiseksi. Kärkiosan vähimmäissuoja on maakärki, josta käytetään myös nimitystä maakenkä. (kuva 3) Maakenkä soveltuu käytettäväksi maa-alueilla, joka ei ole kivinen tai lohkareinen eikä paalua lyödä kallioon asti. Kivisesä tai lohkareisessa maassa sekä jos paalu lyödään kallioon asti, käytetään kalliojärkeä. (kuva 3) Kärjen käytöstä päättää suunnittelija harkinnan ja olosuhteiden mukaan. Kärjet kiinnitetään paaluihin tehtaalla valun yhteydessä (Jääskeläinen 2009, 57 - 58.)



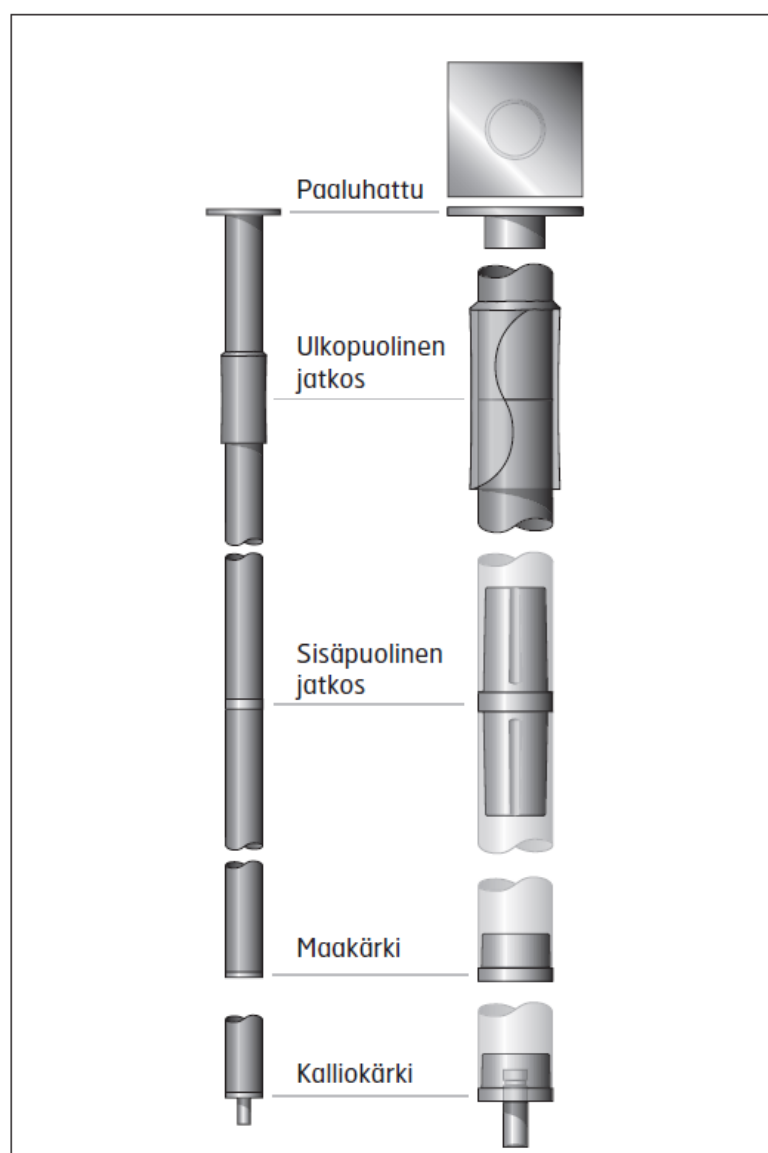
Kuva 3. Maa- ja kalliojärki (Emeca Oy)

2.1.2 Teräsputki-paalut

Lyötävät teräsputki-paalut lyödään maahan samalla periaatteella kuin teräsbetonipaalut. Putket ovat yleensä ympyrän muotoisia profiileja. Alle 300 mm halkaisijaltaan olevat putket ovat ns. pienpaaluja ja yli 300 mm ovat suurpaaluja.

Suurpaalujen etuna on se, että ne kestävät hyvin kuormia ja niillä on suuri taivutusvastus, joten ne sopivat haastaviin olosuhteisiin sinne, minne muut paalutyypit eivät sovellu.

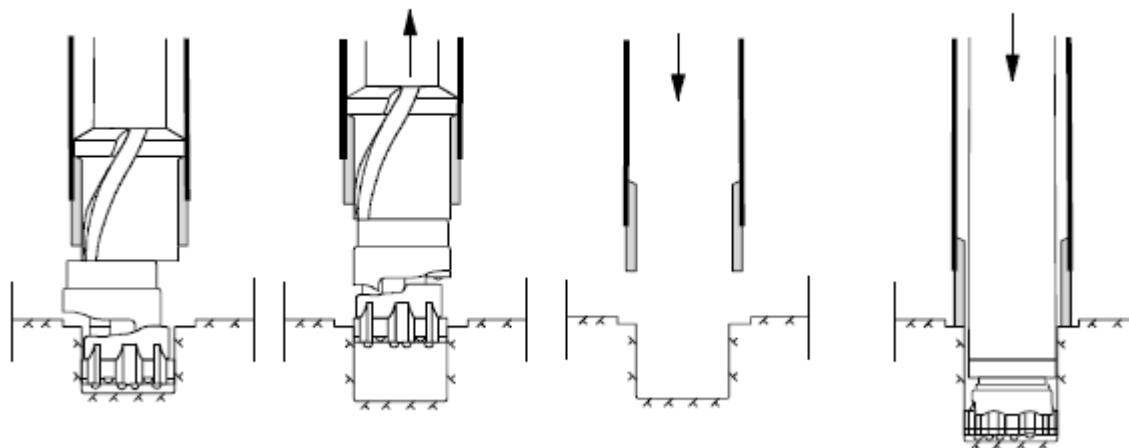
Suomessa lähes aina käytetään ns. umpinaisia pohjalevyllä tai kalliokärjellä varustettuja paaluja. (kuva 4) Kalliokärki on yleisempi, koska lyömällä paalu kallioon asti tukipaaluksi, saadaan sen koko kantavuuskapasiteetti hyödynnettyä.



Kuva 4. Lyötävän teräsputki-paalun rakenne (Ruukki)

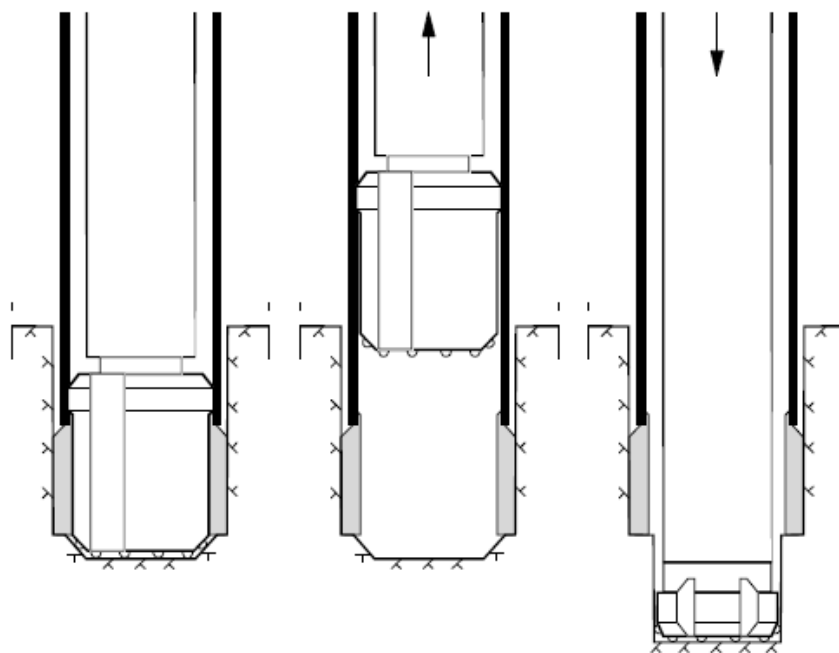
2.2 Porapaalutus

Porapaalutus menetelmänä eroaa lyöntipaalutuksesta siten, että paalua ei upoteta maahan lyömällä, vaan paalulle porataan maahan reikä samalla poistaen porausjäte. Porauksesta syntyvää porausjätettä kutsutaan porasoijaksi, joka täytyy yleensä kuljettaa pois. Porapaalut porataan yleensä kallioon asti tukeutuviksi tukipaaluiksi, jolloin niiden kantavuuskapasiteetti saadaan hyödynnettyä. Porapaalutuksessa on kaksi erilaista menetelmää: epäkeskinen-, sekä keskinen porausmenetelmä.



Kuva 5. Epäkeskinen porausmenetelmä (Tiehallinto 2001)

Epäkeskeisessä porausmenetelmässä käytetään epäkeskeistä avarrinkruunua, joka tekee porattavasta reiästä hieman paalua isomman. (kuva 5) Porauksen aikana putkea painetaan alaspäin porakruunun avulla porauksen päätyttyä. (Tiehallinto 2001)



Kuva 6. Keskinen porausmenetelmä (Tiehallinto 2001)

Keskisessä porausmenetelmässä käytetään pilottikruunua ja erillistä keskistä avarrinkruunua, joka asennetaan pilottikruunun kärkeen kiertämällä. Kun poraus on edennyt haluttuun syvyyteen, poraa pyöritetään vastakkaiseen suuntaan, jolloin pilottikruunu irtoaa avarrinkruunusta ja pora nostetaan ylös putkesta. (kuva 6) (Tiehallinto 2001.)

2.3 Paalutuskalusto

Paalutukseen käytettävien koneiden täytyy olla kyseisiin paalutusmenetelmiin soveltuvia ja niiden on oltava standardien mukaisia. Paalutuskalustojen turvallisuusvaatimuksia esitetään standardeissa SFS-EN 791 ja SFS-EN 996. (PO-2011, 194). Yleensä käytetään teloilla varustettuja koneita (kuva 7), jotka soveltuvat turvalliseen paalutustyöhön hyvin pehmeilläkin alustoilla sekä esimerkiksi rakennusten vieressä työskentellessä.

Lyöntipaalutuskoneeseen kuuluu yleensä mekaaninen tai hydraulinen järkäle, joka antaa iskun paalulle. Hydraulijärkäle voi olla vapaasti puotava tai kiihdytetty. Pudotusjärkäle on yleisimmin käytetty järkäle. Koneen on oltava riittävän vakaa käsittelemään painavia sekä pitkiä paaluja. (Jääskeläinen 2009, 79 - 80.) Paalutuskoneen maston kaltevuuden tulisi olla vinopaaluja lyötäessä riittävän tarkasti säädettävissä. (PO-2011, 195). Paalutuskoneiden kehityksen ansiosta esimerkiksi lyöntitajuus on saatu nopeammaksi, josta on ajallisesti etua varsinkin suurissa paalutusmäärissä. Myös paalutustyöstä aiheutuvaa melua on saatu pienennettyä.

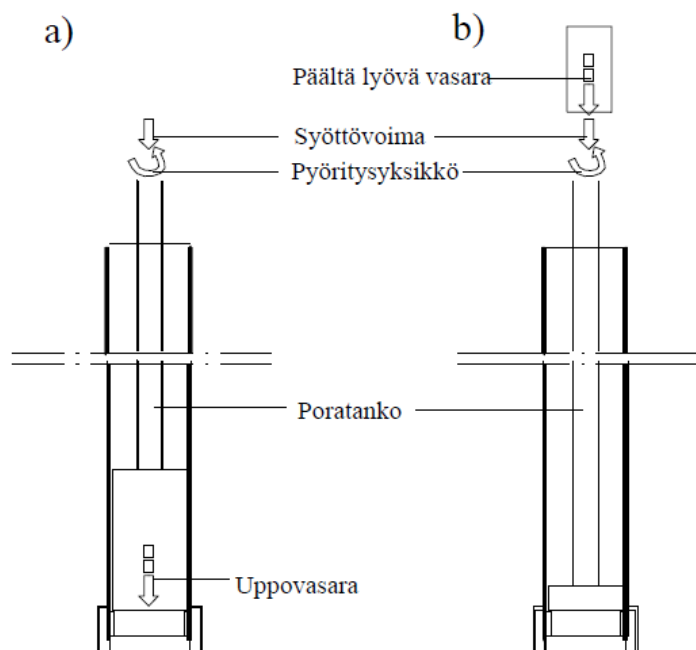
Paalutustyöluokissa PTL2 ja PTL3 on lyöntilaitteen valmistajan, maahantuoja tai käyttäjän varmistettava tärkeät paalutukseen vaikuttavat tekijät. Erilaisia tekijöitä ovat mm. lyönnin kokonaistehokkuus, paalujen lyöntiin soveltuvat erilaiset iskusuojat, iskusuojien vaikutus paaluun välittyviin jännityksiin eri paalutyypeillä. Paalutustyöluokassa PTL1 lyöntikaluston tulee olla asianmukainen käyttöön soveltuva ja tunnettu. Lyöntiin olennaisesti vaikuttavat tekijät täytyy olla laskettavissa tai pääteltävissä. (PO-2011, 195.)



Kuva 7. Junttan PMx22 lyöntipaalutuskone (Jyri Hyvönen)

Porapaalutuskoneet on tehty joko kaivinkoneesta muuntamalla, tai alunpitäen valmiiksi paalutuskoneiksi. Porapaalutuskoneessa on järkäleen sijasta joko upporakalusto tai päältätyövä kalusto. (kuva 8)

Porapaalutus tehdään Suomessa yleensä iskevällä porausmenetelmällä, jotka perustuvat neljään komponenttiin: syöttövoimaan, pyörykseen, iskuun ja huuhteluun. Yleensä porapaalutuskone tarvitsee lisäksi erillisen korkeapainekompressorin, josta saadaan voima poravasaralle. Myös vesikäyttöisiä upporauskalustoja on, mutta ne eivät ole yleisiä ja suuri paine ja vesimäärä voi aiheuttaa maan häiriintymistä. (Tiehallinto 2001, 75.)



Kuva 8. Porauskalustojen periaate a) uppoporauskalusto b) päättälyövä kalusto (Tiehallinto 2001)

2.4 Paalutustyö

Ennen paalutustyön aloittamista on tehtävä työ- ja laatusuunnitelma sekä nimettävä paalutustyönjohtaja. Työntekijät täytyy perehdyttää työmaahan sekä työtehtäviin asianmukaisesti. Tavallisesti paalutus aiheuttaa tärinää ja syrjäyttää maata joten ennen töiden alkua on syytä suorittaa katselmuksia erityisesti rakennusten lähellä työskentellessä. (Jääskeläinen 2009, 83.)

Ennen varsinaista paalutustyövaihetta tarvitaan pohjatutkimuksia, suunnittelua ja mahdollisesti koepaalutuksia. Suunnittelu- ja koepaalutusvaiheen merkitys kasvaa laajoissa paalutushankkeissa ja haastavissa pohjaolosuhteissa. Koepaalutuksella käytännössä testataan kaluston soveltuvuus ja lyötyjen paalujen loppuehdoilla suunniteltu geotekninen kantavuus. Koepaalutusta käsitellään laajemmin kappaleessa 3 KOEPAALUTUS.

Paalutustyön laatusuunnitelmassa määritellään paaluille tehtävät mittaukset ja toleranssit. Kaikkien paalujen sijainti mitataan ja merkitään maastoon olosuhteisiin sopivalla tavalla, esimerkiksi nauloilla ja sihtilapuilla tai merkkausmaalilla. Paalupaikat mitataan nykyään yleensä takymetrillä, johon saadaan siirrettyä paalujen suunnitellut koordinaatit. Sijaintien lisäksi takymetrillä saadaan mitattua katkaisukorot paaluille, sekä tarvittavat tarkemittaukset paalujen päistä. Tarkemittauksilla saadaan selville mahdolliset mittapoikkeamat suunnitelluista sijainneista. Rakennesuunnittelija laskee toleranssit mittapoikkeamille ja päättää tarvittavista toimenpiteistä toleranssien ylittyessä.

Paalut toimitetaan suoraan työmaalle paalutuskoneen ulottuville helposti saataville kuten kuvassa 9, tai väliaikaiselle varastointipaikalle. Kuorman saapuessa paalut on tarkastettava, jotta ne ovat oikeata tyyppiä sekä teräsbetonipaaluilla on riittävä ikä. (Jääskeläinen 2009, 83). Kaikki paalut numeroidaan paalutussuunnitelmaan ja jokaisesta paalusta pidetään pöytäkirjaa. Tämä mahdollistaa ongel-

mien selvityksen työn aikana ja sen jälkeen, sekä varmistaa laadukkaan lopputuloksen. Paalutuksesta tehdään työn aikana pöytäkirja, johon muun muassa merkitään: paalun tiedot, kalustotiedot, lyöntipaalutuksen loppulyönnit ja painumat. (Jääskeläinen 2009, 83 - 84.) Lyöntipaalutuksen lyönnit lopetetaan loppulyönnteihin. Loppulyönnit lyödään 10 lyönnin sarjoina, joiden aikana painuma ei saa ylittää sallittuja rajoja.

2.5 Koekuormitukset

Yleisesti paaluille tulee suorittaa koekuormituksia SFS-EN 1997-1:n tai suunnitelmien mukaan. Paalutustyöluokassa 3 tehdään aina kestävyys varmistuksia dynaamisella tai staattisella koekuormituksella. (PO-2011, 241.)

Dynaaminen koekuormitusmenetelmä, joka tunnetaan käytännössä nimellä PDA-mittaus (Pile Driving Analyzer), on iskuvaltoteoriaan perustuva menetelmä. PDA-mittauksella varmistetaan paalujen geotekninen kantavuus ja rakenteellinen kelpoisuus. PDA-mittauksia saa suorittaa vain mittauksiin pätevöityneet henkilöt. Suunnitelmissa kerrotaan kuinka paljon koekuormituksia on tehtävä. (PO-2011, 244 - 245.) Mittauksista saatavaa tietoa voidaan käyttää paalutuksen valvonnassa, sekä suunnitteluvaiheessa.

Staattisesti tehtävän geoteknisen puristuskestävyyden määrittämisessä koepaalut asennetaan samalla tavalla ja ulotetaan samaan maakerrokseen asti kuin perustuspaalut. Koekuormituspaalujen tulee vastata kohteeseen suunniteltuja paaluja. Staattinen koekuormitus tehdään geoteknisen toiminnan kannalta epäedullisimmissa pohjaolosuhteissa oleville paaluille. (PO-2011, 55 - 61)



Kuva 9. Paalutustyömaa (Jyri Hyvönen)

3 KOEPAALUTUS

Tässä luvussa selvitetään sekä pohditaan koepaalutuksen merkitystä hankkeen toteutuksessa sekä esim. tuotannollisia ja taloudellisia vaikutuksia varsinaiseen paalutushankkeeseen. Tarkoituksena on tarkastella koepaalutukseen liittyviä asioita, sekä pohtia siihen liittyviä haasteita ja mitä hyötyjä se tuo hankkeeseen ja sen suunnitteluun. Tässä työssä koepaalutusta tarkastellaan erityisesti suuren hankkeen näkökulmasta, jossa vaikutukset korostuvat ja koepaalutuksen merkitys kasvaa työtä suunniteltaessa. Esimerkkinä tässä työssä toimii alue Äänekosken Metsä Fibren biotuotetehtaan perustussissa.

"Koepaalu

Ennen varsinaista paalutustyötä tai työn aikana tehtävä paalu, jonka tarkoituksena on varmistaa valitun paalutyypin soveltuvuus ja/tai varmentaa sen suunnittelu, mitat ja kestävyys" (PO-2011, 18).

3.1 Koepaalutuksen lähtökohdat

Ennen paalutusta on tehtävä luotettavat pohjatutkimukset ja kerättävä riittävästi tietoa maaperästä. Pohjatutkimuksia voidaan tehdä, sekä paalujen uppoamissyvyyttä voidaan arvoida esimerkiksi painotai heijarikairauksien perusteella, mutta jos on syytä epäillä niiden luotettavuutta, maaperäpoikkeamia tai erityisen laajassa paalutushankkeessa on syytä tehdä koepaalutuksia. (Jääskeläinen 2009, 89.)

Jos vertailukelpoista paalutustyökokemusta ei ole, on yksi tai useampia koepaaluja asennettava sopiviin paikkoihin eri puolille paaluttettavaa aluetta. Koepaalutusvaiheessa on mahdollista tutkia työmenetelmiä, kalustoa sekä paalutuksen vaikutusta ympäristöön, rakennuksiin ja maaperään esimerkiksi tärinöiden osalta. Koepaalutuksesta saadaan tietoa paalujen tarvittavista pituuksista sekä niille voidaan suorittaa koekuormituksia, jotka antavat tietoa paalujen geoteknisestä kestävyyydestä. Koepaalutuksista saatava tieto on tärkeässä asemassa suunnitelmia tehdessä. (PO-2011, 169.)

3.2 Koepaalutuksen merkitys hankkeelle

Koepaalutuksella on monenlaisia vaikutuksia hankkeen alkuvaiheen suunnittelusta toteutuksen loppuun asti. Käytännössä koepaalutuksella pyritään mimimoimaan erilaiset riskit paalutustyössä sekä suunnitelmissa. Koepaalutuksen tarve korostuu etenkin suuren kokoluokan sekä pohjaolosuhteiltaan haastavissa paalutushankkeissa, joissa on laajoja pinta-aloja sekä vaihtelevia ennestään tuntemattomia maaperäalueita. Koepaalutus on merkittävässä osassa muun muassa kustannusten laskennassa, tuotannon suunnittelussa ja aikataulun suunnittelussa, joita tarkastellaan tarkemmin seuraavaksi.

3.2.1 Taloudelliset edellytykset

Koepaalutus määrittelee isolta osin paalutushankkeen taloudellisia edellytyksiä. Koepaalutuksesta saatavat tiedot antavat tilattaville paaluille vaadittavat pituudet sekä tyypit ja näin ollen voidaan laskea käytettäville paaluille muodostuvia kustannuksia. Koepaalutuksen avulla saadaan tehtyä huomattavasti tarkempia kustannuslaskelmia, kuin arvioimalla pelkkien kairauksien ja katselmuksien perusteella. Tunkeutumissyvyyksien arviointi vaikuttaa merkittävästi lopullisiin toteutuviin kustannuksiin ja koepaalutuksella saadaan todellisia tunkeutumissyvyysarvioita. Toteutuvien pituuksien ylittyessä myös kustannukset ylittyvät.

Kustannusten arviointi paalutuksissa vaatii kokemusta kustannuslaskennasta ja mahdollisimman tarkkoja arvioita kyseisen työmaan olosuhteista ja mahdollisista riskeistä. Riskit ja riskivaraukset täytyy arvioida tapauskohtaisesti kuten esimerkiksi lohkareisessa maaperässä, joka voi aiheuttaa teräsbetonipaalujen rikkoontumisia ja näin ollen lisäpaalujen tarvetta.

Syntyviin kustannuksiin vaikuttavat myös tarvittavat resurssit ja käytettävä kalusto, joiden valintaan saadaan järkeviä perusteita koepaalutuksen tuloksista. Resurssien määrä ja laatu vaikuttavat kustannuksiin, mutta luo samalla edellytykset aikataulussa pysymiselle, joten optimaalisella resurssien suunnittelulla saadaan parannettua hankkeen kannattavuutta.

3.2.2 Tuotannonsuunnittelu

Tuotannonsuunnittelu on tehtävä hyvissä ajoin ennen varsinaista paalutustyövaihetta, jotta tilaukset saadaan laadittua tehtaalte, sekä tuotteet tuotantoon ja toimitukseen haluttuna ajankohtana. Kiirrellisinä aikoina toimitusajat tehtaissa voivat olla pitkiäkin ja varsinkin jos toimitettavat määrät ovat suuria, on tärkeä saada riittävän paljon riittävän pitkiä paaluja tuotantoon ajoissa, jotta paalutustyö ei keskeytyisi tavaran puutteen vuoksi.

Paalujen pituuksia voidaan arvioida esimerkiksi kairauksien perusteella, mutta tarkemmat toteutettavien paalujen pituudet saadaan luotettavasti koepaalutuksen perusteella. Koepaalutukset tulisi suorittaa samoilla paalutyypeillä kuin toteutettavat paalut, jotta saadaan riittävän tarkat pituudet kullekin tilattavalle paalutyypille. Liian pitkien paalujen käyttäminen luo hukkaa kustannuksiin varsinkin suurissa kappalemäärissä.

Riittäväillä ennakkotiedoilla voidaan varmistaa myös paaluja tuottavan tehtaän valmiudet suunnitella eri paalutyypeille riittävät valmistusmäärät ja valmistusajankohdat ilman katkoksia toimituksiin. Teräsbetonisissa paaluissa on huomioitava riittävä kuivumisaika ennen toimitusta sekä riittävän lujuden muodostumiseen vaadittava aika ennen kuin paaluja voidaan asentaa.

3.2.3 Aikataulun suunnittelu

Aikataulun suunnittelu työlle vaatii riittävästi lähtötietoja jotta realistisen aikataulun laadinta olisi mahdollista. Aikatauluun on arvioitava työsaavutukset ja resurssivaraukset. Suuren hankkeen aikataulun suunnittelussa luotettavat vertailuarvot ja tiedot työsaavutuksista korostuvat.

Riittävän kattavalla koepaalutuksella on mahdollista saada työmenekkiarvoja ja muita huomioitavia asioita varsinaisen paalutuksen aikatauluun kyseisen työmaan osalta. Työmenekkien kattava arviointi voidaan tehdä esimerkiksi asentamalla useiden kymmenien paalujen sarja toteutettavia paaluja, ja ottamalla aikaa niistä. Saatavien työmenekkien perusteella voidaan luotettavasti arvioida ajan riittävyttä, käytettäviä resursseja ja käytettävää kalustoa.

Paalutustyön aikataulun suunnittelussa tulisi huomioida myös mahdollisia häiriöitä ja työtä keskeyttäviä tekijöitä, joita ovat esimerkiksi: paalutuskoneen rikkoontuminen, erilaiset huoltotoimenpiteet, paalujen loppuminen, onnettomuudet, pohjatyöt sekä esteet maastossa.

4 ESIMERKKIKOHDE

4.1 Kohdetiedot

Tässä työssä esimerkkikohteena toimii Metsä Groupiin kuuluvan Metsä Fibren biotuotetehtaan työmaa Äänekoskella Keski-Suomessa (kuva 10), joka aloittaa toimintansa vuonna 2017. Uusi biotuotetehtas on entisen sellutehtaan alueella ja osittain sen paikalla. Tehdas on maailman ensimmäinen uuden sukupolven biotuotetehtas, joka tuottaa sellun ohella myös muita biotuotteita, kuten mättyöljyä, tärpättiä, ligniinijalosteita, biosähköä ja puupolttoainetta. Uuden biotuotetehtaan tuotannon pääraaka-aine on havupuu. (Biotuotetehtas [www-sivu.](#))

Uuden biotuotetehtaan rakenteet perustetaan lähes kokonaan paalujen varaan. Yhteensä paaluja hankkeessa isketään maahan lähes 180 kilometriä, joten kyseessä on harvinaisen laajat paalutukset.



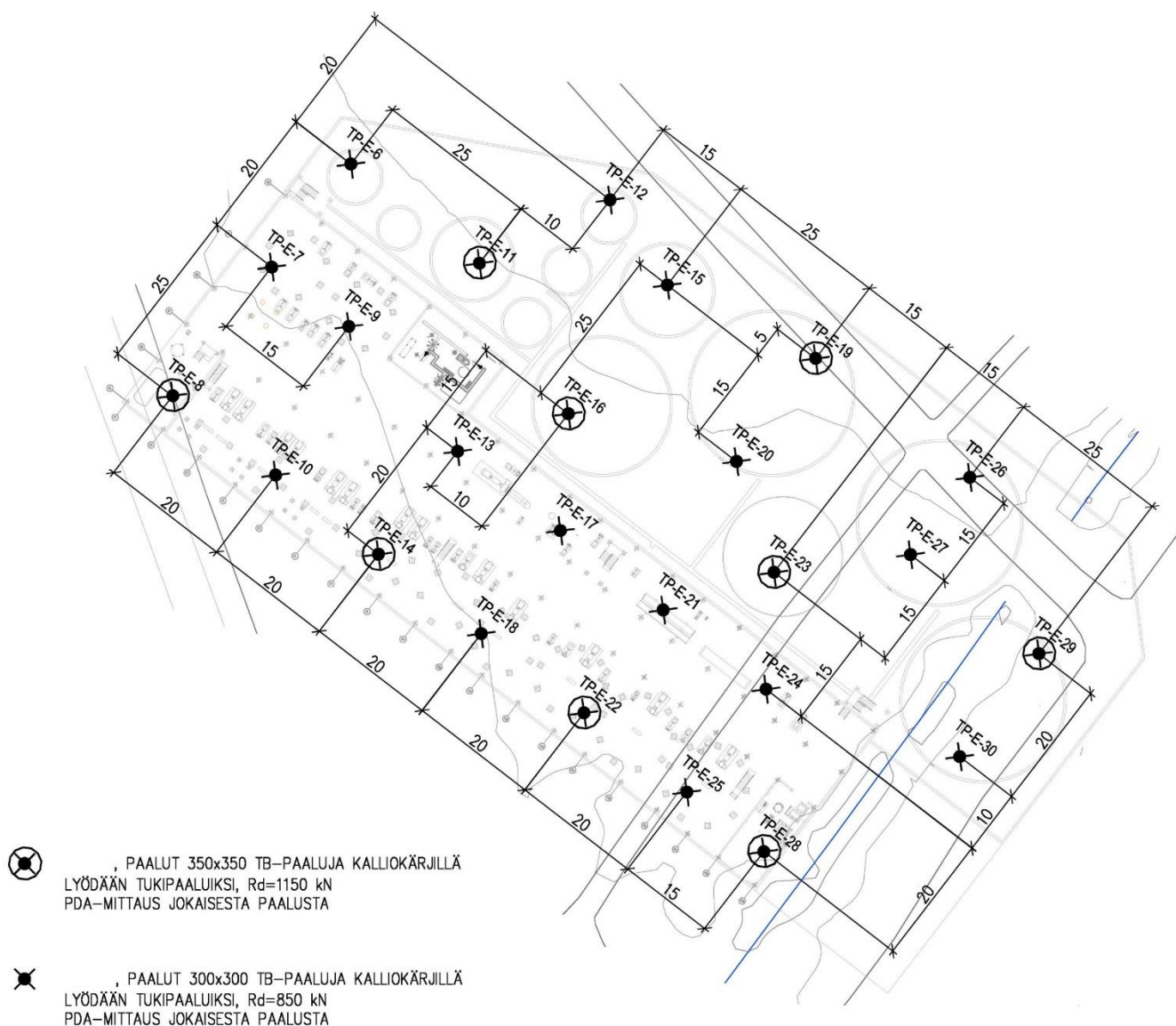
Kuva 10. Biotuotetehtas havainnekuva (Biotuotetehtas [www-sivu](#))

4.2 Haihuttamon koepaalutukset

Tämän työn esimerkkityömaa on biotuotetehtaan haihuttamo, jonka vaihtelevat pohjaolosuhteet toivat haasteita paalutukselle. Varsinaisia paaluja kohteeseen tuli yli 3 000 kappaletta ja koepaaluja lyötiin 25 kappaletta. Koepaalut lyötiin teräsbetonisilla 300 mm x 300 mm tai 350 mm x 350 mm kokoisilla paaluilla.

Koepaalujen sijainnit jaoteltiin tasaisesti haihuttamon alueelle kuva 11:n mukaisesti. Lyötessä kaikki koepaalut täyttivät loppulyöntiehdot, sekä myös PDA-mittauksen tulokset ja johtopäätökset osoittivat, että paaluilla on riittävä kestävyys.

Suunniteltuun korkoon nähden koepaalutuksen perusteella paalujen pituuksien tarve vaihteli ylimmillään reilun 16 metrin ja alimillaan vajaan 10 metrin välillä, eli yli 6 metriä, joten pituusvaihtelua oli jonkin verran. Syvimmälle upposi paalu TP-E-14, ja korkeimpaan kohtaan jäi TP-E-20. (kuva 11)



Kuva 11. Haihuttamon koepaalut havainnekuva (TYÖPIIRUSTUS URAKKA A04)

4.3 Koepaalutuksen vaikutukset kohteessa

Haihduuttamon koepaalutukset tehtiin suunnitelmien mukaisesti, mutta tästä huolimatta ei saatu riittävästi tietoja maaperän haastavuudesta, joita varsinaisen paalutuksen aikana todettiin. Laajan pinta-alan, paalujen vähäisen määrän, sekä pohjaolosuhteiden vaihteluiden vuoksi kyseinen koepaalutus oli liian niukka esimerkiksi aikataulun arviointiin. Pohjatutkimuskartta alueesta on liite 1:ssä ja pohjatutkimusleikkaus liite 2:ssa, joista voidaan havaita esimerkiksi peruskallion voimakasta korkeusvaihtelua.

Pohjaolosuhteiden vaihteluiden myötä teräsbetonisia paaluja täytyi tilata useita eri pituuksia kyseiselle työmaalle. Koepaalujen vähäisen määrän myötä tarvittavien varsinaisten paalujen määriä eri pituuksille oli haastavaa arvioida tarkasti ennakkoon, joten paalupituuksia jouduttiin miettimään ja tilaamaan paalutustyön edetessä. Vaihtelevat pituudet aiheuttivat väistämättä jonkin verran hukkametrejä teräsbetonisille paaluille, sekä haastetta aikataulussa pysymiseen.

Osa haihduttamosta paalutettiin lyötävillä teräsputkipaaluilla, joille ei tehty koepaalutusta, joten niiden käyttäytymisestä kyseiseltä työmaalta ei ollut pohjatietoa. Teräspaalujen hyödyt tulivat kuitenkin esille Haihduttamon pohjan haastavassa sekä vaihtelevassa maastossa, koska paalut oli varustettu kiinteällä mekaanisella jatkosliitoksella. Paalujen jatkos mahdollisti sen, että hukkaa ei juurikaan tullut. Teräspaalut myös kestävät hyvin lyöntiä tiukassa maaperässä.

5 POHDINTA

5.1 Keinoja riskien minimoimiseen

Lähtökohtaisesti kaikilla toteutettavilla paalutyypeillä olisi hyvä tehdä koepaalutus, niin saataisiin tietoa niiden soveltuvuudesta ja käyttäytymisestä maaperässä. Koepaalutukselle täytyisi varata riittävästi aikaa ja paaluja täytyisi lyödä riittävä määrä. Koepaaluja olisi hyvä lyödä esimerkiksi työvuoroa vastaava kappalemäärä. Näin paaluille saataisiin realistisia lyöntiaikoja ja lyöntimetrejä, joilla aikataulua, resursseja ja kalustoa voitaisiin arvioida suunniteltaessa varsinaista paalutustyötä. Lisäksi saataisiin tärkeää pohjatietoa maaperästä, sekä sen ominaisuuksista ja paalupituuksien vaihteluista.

Tekemällä suunnitelmat sekä koepaalutus hyvissä ajoin ennen varsinaista urakkaa, ehditään suunnitelmien tarvittaessa vaikuttaa ja mahdollisiin muutoksiin ehditään vielä reagoida. Sujuva paalutus edellyttää myös, että paalutettavan alueen muut maa- ja pohjarakennustyöt on tehty riittävän laajasti, jottei paalutustyölle ole alueellisia esteitä.

5.2 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli pohtia koepaalutuksen vaikutuksia suunnitteluun ja varsinaiseen paalutustyöhön. Työn esimerkkikohde on hyvä esimerkki siitä, että paalutustyön suunnittelu on haastavaa ja pohjatutkimukset täytyisi tehdä tapauskohtaisesti. Suunnittelussa ei pitäisi sokeasti luottaa maaperätutkimuksiin, kairauksiin, eikä vähäiseen määrään koepaaluja varsinkaan, kun suunnitellaan laajamittaisia paalutuksia ja pohjaolosuhteiden vaihtelua todennäköisesti syntyä.

Nykyään tekninen kehitys ja mittalaitteet mahdollistavat laadunvarmistuksen esimerkiksi suunnittelussa, paalujen valmistuksessa ja paalutustyössä. Vastuu huolellisuudesta ja laadukkaan työn tekemisestä on kuitenkin aina tekijöillä.

Perusteellisemmat pohjatutkimukset ja koepaalutukset vievät aikaa ja tuovat lisää kustannuksia, joiden takia niihin ei välttämättä panosteta niin paljon ja tarvetta vähätellään. Suurissa paalumäärissä tarkempien pohjatutkimusten hyödyt korostuvat ja parempi tutkimus voi myös olla taloudellisesti kannattavaa, kun laskelmat vastaavat työmaalla paremmin todellisuutta.

Tätä työtä tehdessä olen päässyt oppimaan paljon uutta paalutuksesta kesätöiden ja koulun kursseilla oppimani lisäksi.

LÄHTEET

BIOTUOTETEHDAS www-sivu. [viitattu 2016-4-20] Saatavissa: <http://biotuotetehdas.fi/>

EMECA OY www-sivu. [viitattu 2016-4-26] Saatavissa: <http://www.emeca.fi/tuotteet>

JÄÄSKELÄINEN, Raimo. 2009 POHJARAKENNUKSEN PERUSTEET. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy

RANTÄMÄKI, Martti ja TAMMIRINNE, Markku. 2006 POHJARAKENNUS. 13. muuttumaton painos. Helsinki: Hakapaino Oy

RUUKKI. Tekninen ohje EUROCODE - Ruukin teraspaalut Suunnittelu ja Asennusohjeet [verkköjulkaisu]. [viitattu 2016-4-3] Saatavissa:
<http://www1.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Infra/Teraspaalut%20esitteet%20ja%20ohjeet/Tekninen%20ohje%20EUROCODE%20-%20Ruukin%20teraspaalut%20Suunnittelu%20ja%20Asennusohjeet.ashx>

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011 Paalutusohje PO-2011. Saarijärvi: Offset Oy

TIEHALLINTO. 2001 PORAPAALUTUS OHJE. Helsinki: Edita Oyj

LIITE 2: POHJATUTKIMUSLEIKKAUS D-D

