
Luja-pienpaalutustyön kustannusoptimointi



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Visamäki, kevät 2017

Sami Patjas

Sami Patjas



VISAMÄKI

Rakennustekniikan Koulutusohjelma
Yhdyskuntatekniikka

Tekijä	Samu Patjas	Vuosi 2017
Työn nimi	Luja-pienpaalutustyön kustannusoptimointi	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyöni toimeksiantajana toimii Luja-betoni Oy. Toimeksianto Luja-betoni Oy:ltä annettiin Pekka Pihlajamäen toimesta. Hän työskentelee yrityksen kehittämisen Luja-pienpaalun parissa. Luja-pienpaalun valmistajaa kiinnostaa saada tietoonsa, voitaisiinko paalutusta jotenkin tehostaa työmailla, jolloin kustannukset pienenisivät.

Työn tavoitteena on tutkia, mistä Luja-pienpaalutuksessa tapahtuvat kustannukset syntyvät työmailla ja vertailla niitä samoista työmaista kilpailevien teräsputkipaalujen (koot 90–163 mm) paalutuskustannuksiin. Tämän kautta on tavoitteena löytää kustannustehokkaampia ja kilpailukykyisempiä keinoja toteuttaa Luja-pienpaalutus työmailla.

Työn teoriaosuuden kirjoittamiseen lähteenä käytettiin teoksia RIL 254-1-2011, Paalutusohje 2011 ja Raimo Jääskeläisen tekemää Geotekniikan perusteet -kirjaa. Tarkempaa teoriaa Luja-pienpaaluista sain Luja-betonin tekemästä Luja-pienpaaluohjeesta, jonka perusta on tehty Paalutusohje 2011:sta. Opinnäytetyön tutkimusosio tehtiin tutkimushaastatteluiden avulla. Tutkimusosio jaoteltiin vertailuun Luja-pienpaalun ja vastaavan kantavuuden teräsputkipaalun kustannuksiin sekä case-tapaukseen. Siinä tutkittiin Luja-pienpaalutuksen onnistumista työmaalla sekä sitä, miten Luja-pienpaalutusta voitaisiin vielä mahdollisesti tehostaa. Vertailuosiossa haastateltiin kahta eri paalutusurakoitsijaa, joista molemmat paaluttavat sekä Luja-pienpaalua että teräsputkipaalua.

Tutkimuksessani selvisi, että Luja-pienpaalutus tehdään tällä hetkellä jo erittäin kustannustehokkaasti työmailla. Parannettavaakin kuitenkin löytyi. Ennen paalutuksen aloittamista on tärkeää, että pohjatutkimuksiin perehdytään huolella ja että paalutuksen eteneminen työmaalla suunnitellaan huolellisesti. Paalutuksen aikana on tärkeää, että paalutusurakoitsijalla on koko ajan tarpeeksi paaluja työmaalla, jotta työ voi sujua keskeytyksittä. Paalutuksen päätyttyä varmistetaan vielä, että kaikki työt on varmasti tehty, jotta paalutuskalustoa ei tarvitse tuoda työmaalle uudelleen.

Avainsanat Luja-pienpaalu, teräsbetonipaalu, teräsputkipaalu, pohjarakentaminen ja pohjatutkimukset

VISAMÄKI

Degree Programme in Construction Engineering
Civil Engineering

Author

Sami Patjas **Year** 2017

Subject of Bachelor's thesis

Cost effectiveness of Luja small concrete pile

ABSTRACT

This Bachelor's thesis was commissioned by Lujabetoni Oy. The company has developed a small concrete pile called Luja. The purpose of the thesis was to investigate the costs caused by Luja small concrete pile driving at a construction site and compare these costs to competing steel pipe pile driving costs. Based on this investigation and comparison the aim was to find more cost effective and competitive ways to do Luja small concrete pile driving at a construction site.

The theoretical part of the thesis is based on RIL 254-11-2011 (pile driving instruction 2011) and a textbook Geotekniikan perusteet (Basics of Geotechnology). The information on pile driving of Luja small concrete piles was obtained from the instructions by Lujabetoni Oy.

The research part of the thesis was carried out through interviews. The research part was divided into two halves i.e. comparison of Luja small concrete piles and steel pipe piles of similar bearing ability. First, pile driving workers working with both types of piles were interviewed to find out what produces the costs in pile driving. Secondly, the contractors using Luja small concrete piles were interviewed. The purpose was to find out their views on pile driving and things that could be done better and in a more cost effective way.

The results of the thesis show that Luja small concrete pile driving is already made quite cost effectively. However, there is also something to improve. Before starting the pile driving it is important to examine the ground investigations and plan the pile driving carefully. During pile driving at the site it is important that pile driving workers have enough piles to do their work without interruption. After the pile driving is done at the site it is important to make sure that everything is really done so that you don't need to bring back the pile driving equipment.

Keywords Luja-smallconcretepile, reinforced concrete pile, steelpipepile, site preparation and ground survey

Pages 26 p. + appendices 6 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	LUJA PIENPAALUTUSTYÖ: NYKYTILASELVITYS.....	2
2.1	Paalutyypit	3
2.2	Paalutuskalusto	3
2.2.1	Yleisvaatimukset.....	3
2.2.2	Lyöntipaalutuskalusto	3
2.3	Paalutusohjeet	5
2.3.1	Paalutustyön yleiset suunnitteluperusteet	5
2.3.2	Paalutustyö	6
2.3.3	Luja-pienpaalu (180 mm*180 mm)	7
2.3.4	Teräsputkipaalu (90–163 mm)	8
2.4	Loppulyöntiohjeet	9
2.5	Paalutustyöluokat.....	11
2.6	Pohjatutkimusmenetelmät ja laadunvarmistusmenetelmät.....	12
2.6.1	Pohjatutkimuksen yleiset vaatimukset.....	12
2.6.2	Kairausmenetelmät	13
2.6.3	PDA-mittaus	15
2.6.4	Tarkemittaus	16
3	VERTAILUSSA LUJA-PIENPAALU JA VASTAAVAN KANTAVUUDEN TERÄSPUTKIPAALU	17
3.1	Menekkierot ja niiden syyt	17
3.2	Haastattelututkimus.....	19
3.3	Haastattelujen tulokset	19
3.3.1	Luja-pienpaalun ja teräsputkipaalun paalutusnopeudet	19
3.3.2	Luja-pienpaalun ja teräsputkipaalun jatkettavuus	19
3.3.3	Luja-pienpaalun hyvät puolet ja teräsputkipaalun hyvät puolet paalutettaessa	20
3.3.4	Luja-pienpaalun ja teräsputkipaalun kustannuserot paalutettaessa	20
3.3.5	Luja-pienpaalun käyttökohteet ja haasteet kilpailussa työmaista teräsputkipaalua vastaan	20
4	CASE-OSUUS: SISCO OY:N RIVITALOTYÖMAA KLAUKKALASSA	21
5	LUJA-PIENPAALUTUSTYÖN KUSTANNUSTEN OPTIMOINNIN TUTKIMUSTULOKSET.....	22
6	JOHTOPÄÄTÖKSET (YHTEENVETO).....	24
	LÄHTEET	26
Liite 1	Haastattelukysymykset Neliyhtymä Oy:lle Luja-pienpaalun ja teräsputki- paalujen menekkieroista ja menekkieroista syntyvistä kustannuseroista	

-
- Liite 2 Haastattelukysymykset Maanrakennus Jari Knuuttila Oy:lle Luja-pienpaalun ja teräspuutkipaalujen menekkieroista ja menekkieroista syntyvistä kustannuseroista
- Liite 3 Haastattelukysymykset Sisco Oy:lle Luja-pienpaalutuksesta heidän rivitalotyömaallaan Klaukkalassa

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni aiheena on Luja-pienpaalutustyön kustannusoptimointi. Luja-pienpaalu kilpailee monista työmaista muiden eri paalutyyppeiden ja paaluvalmistajien kanssa, jolloin kustannusten optimointi työmailla on erittäin tärkeää.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, mistä Luja-pienpaalujen kustannukset koostuvat työmailla ja miten kustannukset voitaisiin optimoida työmailla. Lisäksi vertaillaan Luja-pienpaalun sekä kilpailevan teräspaalun kustannusten tekijöitä ja niiden eroja työmailla.

Opinnäytetyössä käydään läpi paalutustöiden työvaiheita sekä perehdytään RIL 254-2011 Paalusohje-2011:n antamaan ohjeistukseen ja määräyksiin paalutustöiden työvaiheista.

Tilajana opinnäytetyölle toimii Lujabetoni Oy, joka kuuluu osana Lujayhtiöihin. Lujabetoni Oy on Suomen kolmanneksi suurin betoniteollisuusyritys (Vuosikertomus 2014). Luja-pienpaalu on Lujabetoni Oy:n kehittämä teräsbetonipaalu, jonka pituus on 6 m ja halkaisija 180 mm. Erikoisuutena Luja-pienpaalussa verrattuna perinteiseen teräsbetonipaaluun on, että se on mahdollista jatkaa tarvittaessa erittäin helposti, koska jokaiseen Luja-pienpaaluun kuuluvat vakiona jatkososat. Tämän ansioista Luja-pienpaalua paaluttaessa hukkaa ei synny juuri yhtään, koska paalusta katkaistu pala voidaan käyttää seuraavassa paalutuspisteessä.

2 LUJA PIENPAALUTUSTYÖ: NYKYTILASELVITYS

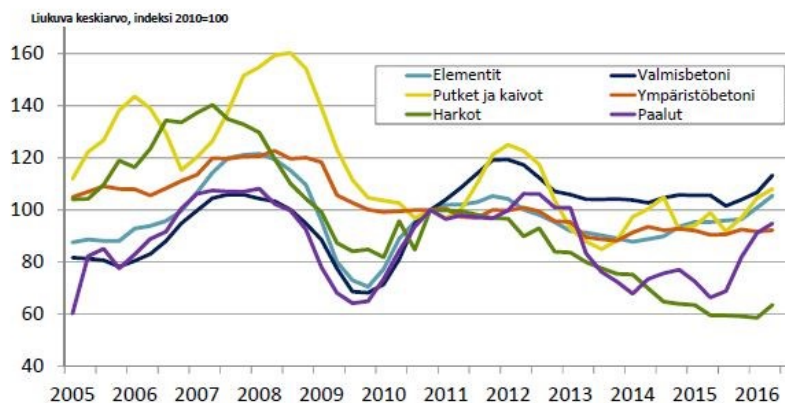
Paalut ovat rakennusosia, jotka välittävät voimia kallioon tai maahan. Ne voivat sisältää kuormaa siirtäviä rakenneosia, jotka suoraan tai epäsuorasti välittävät kuormia tai estävät muodonmuutoksia. (RIL 254-1-2011, 15.)

Paalujen käyttö rakentamisessa kasvaa jatkuvasti. Osasyynä tähän on se, että rakentajat ottavat rakennuskäyttöön maa-alueita, joille rakentaminen on ennen ollut liian kallista pehmeiden ja kantamattomien maaolosuhteiden vuoksi. Tällaisille alueille rakentamisen kannattavaksi tekee yleensä tontin arvon nouseminen esimerkiksi alueen palveluiden kehittyessä ja kaupungin kasvaessa. Paalutuksen hinnan lasku kovan kilpailun vuoksi on myös edesauttanut ennen kannattamattomien maa-alueiden käyttöön ottamista.

Paalujen käytön kasvua on suuresti edesauttanut rakentamisen elpyminen parin viime vuoden aikana. Rakennusteollisuus RT ry:n tekemästä betoni-indeksitaulukosta (Taulukko 1) nähdään, että paalujen valmistus on kasvanut huomattavasti vuonna 2016 verrattuna esimerkiksi vuosiin 2014 ja 2015. Paalujen valmistuksen kasvu vuoden 2016 toisella kvartaalilla verrattuna vuoden 2015 samaiseen kvartaaliin oli 20,2 %. Tämä selviää Rakennusteollisuus RT ry:n teettämästä tutkimuksesta (Rakennusteollisuus RT ry 2016).

Taulukko 1. Betoniteollisuuden menekki-indeksi vuosina 2005–2016 (Rakennusteollisuus RT ry 2016).

Betoniteollisuuden menekki-indeksi



2.1 Paalutyypit

Paalutyypit on eurooppalaisten toteutusstandardien mukaan jaettu kahteen pääryhmään: kaivettaviin paluihin ja maata syrjäyttäviin paaluihin. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävät paalut (Luja-pienpaalu ja teräspalkkipaalu) ovat maata syrjäyttäviä paaluja. Maata syrjäyttävät paalut asennetaan maahan poistamatta tai kaivamatta maasta materiaalia, pois lukien tärinän ehkäisemisestä tai maanpinnan nousun rajoittamisesta johtuvat maanpinnan poistot sekä vaikeasti läpäistävien esteiden kuten maakivien poistot. Paalut asennetaan maahan joko ruuvaamalla, puristamalla, täryttämällä, lyömällä tai näiden menetelmien yhdistelmillä. (RIL 254-1-2011, 15.) Näistä maata syrjäyttävien paalujen asennustavoista opinnäytetyössäni käsitellään paalujen asennusta lyömällä.

2.2 Paalutuskalusto

2.2.1 Yleisvaatimukset

Paalutuskaluston on oltava rakenteeltaan sellaista, että paalun painautumista maahan pystytään seuraamaan riittävän tarkasti ja että asentaminen pystytään tarvittaessa keskeyttämään. Paalutuskaluston on myös täytettävä työturvallisuuden asettamat vaatimukset. Jotta saataisiin aikaan tunkeutuminen ennakkoon määrättyyn syvyyteen ja kaltevuuteen sekä saavutettaisiin vaadittu lyöntivastus aiheuttamatta vaurioita ja ympäristöä häirittäisiin mahdollisimman vähän, tulee paalut upottaa sopivalla kalustolla. Paalutuskalustojen tulee vastata suunniteltuja arvoja, ja niiden tehokkuutta ja suorituskykyä tulee tarkkailla paalutuksen tapahtuessa. (RIL 254-2-2011, 194.)

2.2.2 Lyöntipaalutuskalusto

Lyöntipaalutuskoneen tulee olla toiminnaltaan sellainen, että sillä voidaan liikkua rakennuskohteen olosuhteissa turvallisesti ja luotettavasti. Lyöntipaalutuskoneen tulee myös täyttää sille mahdollisesti suunnitelmassa asetetut koko- ja painovaatimukset sekä paalutettavan paalun pituuden asettamat vaatimukset. Paalutuskoneissa sijaitsevien lyöntilaitteiden tulee olla toiminnaltaan sellaisia, että paalu saadaan upotettua suunniteltuun syvyyteen ilman, että paalun rakenne hajoaisi. Lisäksi lyöntilaitteiden tulee olla sellaisia, että mahdolliset mekaaniset liitokset kiristyvät kunnollisesti ja paaluun tulevat iskut ovat paalun akselin suuntaisia. Tärkeää on myös, että paalutuslaite ja -alusta ovat riittävän tukevia, ettei paalutuslaite kaadu eikä paalutus aiheuta haitallista heilumista paalutuksen aikana. Paalutuskalusto tulee myös valita siten, että se ei synnyttäisi haitallista tärinää ympäröiviin rakenteisiin. (RIL 254-2-2011, 195.)

Pudotusjärkäleet ovat vaijeriripusteisia tai hydraulisia. Vaijeriripusteinen järkäle tarkoittaa, että järkäle on kiinnitetty vaijereihin ja että se vinsataan ylös haluttuun tiputuskorkeuteen. Tämän jälkeen vaijeri vapautetaan,

jolloin järkäle ja vaijeri tippuvat paalun yläosassa olevaan iskukappaleeseen tai -tyynyyn. Pudotusjärkäle voi olla myös niin sanotusti vapaasti putoava, mikä tarkoittaa, että järkäle nostetaan haluttuun pudotuskorkeuteen ketjulla tai vaijerilla, josta se sitten vapautetaan laukaisulaitteella. (RIL 254-2-2011, 196.)

Hydraulijärkäleet (Kuva 1) voidaan jakaa toimintatavan mukaan yksi- ja kaksitoimisiin hydraulijärkäleisiin. Yksitoimisessa hydraulijärkäleessä liikkuva osa eli järkäle nostetaan hydraulisella sylinterillä ylös ja sen jälkeen sylinteri päästetään tyhjentymään, jolloin järkäle putoaa painovoimaisesti alas. Kaksitoimisessa hydraulijärkäleessä järkäle nostetaan myös sylinterin avulla ylös, mutta lisäksi järkälettä kiihdytetään sylinterin avulla sen pudotessa, jolloin järkäleen loppunopeus kasvaa. (RIL 254-2-2011, 196.)

Hydrauli- ja pudotusjärkäleiden massan koko on riippuvainen käytetyn paalun koosta ja pohjaolosuhteista.



Kuva 1. Paalutuskone, jossa on käytössä yksitoiminen hydraulijärkäle. (Kuva: Sami Patjas)

2.3 Paalutusohjeet

Maata syrjäyttäviä paalutyyppejä, joita Suomessa yleisimmin käytetään, ovat:

- teräsbetoniset lyöntipaalut dimensioiltaan 250*250 mm², 300*300 mm² ja 350*350 mm²
- puristettavat tai löytävät teräs- tai pallografiittirautapienpaalut, joiden halkaisija on $30\text{mm} \leq d \leq 300\text{mm}$
- löytävät suuriläpimittaiset teräsputkipaalut, joiden halkaisija on $d \geq 300\text{mm}$.

Maata syrjäyttävät paalut voivat olla materiaaliltaan ja dimensioiltaan myös edellisestä luettelosta poikkeavia, kunhan ne voidaan mitoittaa eurokoodien mukaisesti. (RIL 254-2-2011, 135.) Tästä esimerkkinä on opinnäytetyössä käsiteltävä Luja-pienpaalu, joka on teräsbetoninen lyöntipaalu. Sen koko on 180*180 mm.

2.3.1 Paalutustyön yleiset suunnitteluperusteet

Paalujen suunnittelussa pitää määrittää käytettävien paalujen koko, tyyppi ja asennustapa, joka sopii työmaan vallitseviin ympäristö- ja pohjaolosuhteisiin. Jos paalutustyötä tehtävältä työmaalta ei ole aikaisempaa vertailukelpoista paalutustyökokemusta, täytyy työmaalla asentaa yksi tai useampi kokeilupaaalu valittuihin paikkoihin ennen paalutustöiden aloittamista. Koepaalujen asennus antaa mahdollisuuden arvioida työmenetelmien ja paalutuskaluston sopivuutta työmaalle sekä tutkia käytettävien paalujen vaikutusta maaperään ja ympäristöön. Koepaalutuksista saadaan myös tietoa asennuskriteerein arviointiin, ja ne antavat viitteellistä tietoa paalujen uppoamissyvyydestä ja paalujen geoteknisestä kantavuudesta. (RIL 254-2-2011, 169.)

Ennen paalutustöiden aloittamista tulee paalutettavasta työmaasta olla tehtynä työmaan pohjatutkimusraportti. Lisäksi on selvitettävä paalutuksen toteutuksen ja suunnittelun ohjeet ja laatuvaatimukset sekä työn mittaus-, valvonta- ja seurantatarkkailua tai testausta koskevat lisävaatimukset. Huomioon on myös otettava paalutustyön suorittamista mahdollisesti vaikeuttavat tekijät ja rajoitukset kuten työalueen koko, maanpinnan muoto, maanpinnan viettosuhteet, työmaan kulkureitit, laitteiden ja materiaalien kuljettamista rajoittavat tekijät, samaan aikaan työmaalla tapahtuvat toiminnot sekä yläpuoliset voimalinjat. Paalutustyöhön voivat myös vaikuttaa työmaan ympäristöolosuhteet ja ympäristön aiheuttamat rajoitukset. Näillä tarkoitetaan paalutustyömaan läheisyydessä olevia herkästi vaurioituvia rakennuksia tai rakenteita sekä paalutustyön mahdollisesti aiheuttamia ympäristöhaittoja kuten tärinää, melua tai saastumista. Lisäksi tehdään katselmukset työmaalla tai sen läheisyydessä sijaitsevien rakennusten ja säilytettävien rakenteiden osalta. Katselmuksen laajuuden ja suoritustavan arvioi ennalta määritetty osapuoli. Katselmuksesta on tehtävä raportti ennen paalutustöiden aloittamista. (RIL 254-2-2011, 169–170.)

Projektin laatuvaatimuksissa tulee määrittää upotuksen minimisyvyys ja minimiläpimitta, kun paalut asennetaan kantavaan maakerrokseen tai kallioon. Jos maaperäolosuhteet eroavat huomattavasti pohjatutkimuksissa saatuihin tuloksiin, on suunnitelmia muutettava siten, että perustuksilta tai paalulta vaadittu geotekninen kantavuus saavutetaan. Jos paalu tai paalut osuvat läpipääsemättömään esteeseen ennen suunniteltua perustamisyyvyttä, suunnitelmat täytyy tarkistaa niin, että otetaan huomioon mahdolliset tiedot esteestä ja sen vaikutuksista perustusten geotekniseen kantavuuteen. (RIL 254-2-2011, 176–177.)

2.3.2 Paalutustyö

Ennen paalutustyön aloittamista paalutustyön toteuttavan tahon on laadittava kohdekohtainen paalujen toteutussuunnitelma. Kohteelle, joka kuuluu paalutustyöluokkaan PTL2 tai PTL3, on toteutussuunnitelman osana tehtävä laadunvarmistuksesta kirjallinen suunnitelma. Rakentaja esittää toteutumissuunnitelmassa yksityiskohtaisesti pohjarakenteiden rakentamista. Paalutustyön toteuttaja laatii toteutussuunnitelman kirjallisena työselostuksena mahdollisine kuvineen. Toteutussuunnitelma luovutetaan rakennushankkeesta vastaavalla tarkastettavaksi enne paalutustöihin ryhtymistä. Toteutussuunnitelmassa kerrotaan käytettävän paalutustyöluokan edellyttämät työtavat ja koneet, joilla päästään pohjarakennesuunnitelman vaatimiin ehtoihin. (RIL 254-2-2011, 191.)

Paalutustyötä tekevillä työntekijöillä ja paalutustyön valvojilla tulee olla koulutus työhön ja aikaisempaa kokemusta siitä. Paalutustöihin nimetään aina paalutustöistä vastaava paalutyönjohtaja. Paalutustyönjohtajana voi toimia rakennustyöstä vastaava työnjohtaja tai asianomaisen viranomaisen hyväksymä erityisalan työnjohtaja. Tärkeää on, että paalutustöitä vastaava paalutustyönjohtaja on perehtynyt ja tottunut paalutustyöhön.

Jotta paalutustyö voidaan tehdä turvallisesti sekä työ- ja laatusuunnitelman mukaisesti, on paalutuskoneen käyttäjällä oltava joko ammatillinen pätevyys tai riittävä kokemus käytettävän paalutuskaluston toiminnasta. Lisäksi hänen on tunnettava käytettävä paalutustapa. Paalutuskoneen käyttäjän on tunnettava tekemästään paalutustyöstään ainakin seuraavat asiat:

- miksi paalutetaan kyseissä kohteissa
- miksi on valittu tietty paalutustapa
- oman työn laadun vaikutus tuleviin työvaiheisiin ja lopulliseen rakenteeseen. (RIL 254-2-2011, 193.)

Ennen paalutustyöhön ryhtymistä on varmistettava, että työmaa-alue on riittävän laaja ja että kaikki paalutustyöhön liittyvät toiminnot voidaan tehdä turvallisesti. Paalutuskoneen työskentelytaso on tehtävä ja pidettävä sellaisessa kunnossa, että työt voidaan tehdä tehokkaasti ja turvallisesti. (RIL 254-2-2011, 193.)

2.3.3 Luja-pienpaalu (180 mm*180 mm)

Luja-pienpaalu on Lujakonserniin kuuluvan Luja-betoni Oy:n kehittäämä teräsbetonipaalu, jonka poikkileikkauskoko on 180 mm*180 mm ja jonka pituus on aina 6 m (Kuva 2). Sen käyttökohteita ovat omakotitalot, rivi- ja pienkerrostalot, teollisuushallit sekä päivä- ja hoivakodit. Luja-pienpaalut ovat jatkettavia teräsbetonipaaluja, mikä takaa sen, että paalutuksessa ei synny lähes yhtään hukkaa. Lisäksi Luja-pienpaalutuksessa ei tarvita yhtä suurta paalutuskalustoa kuin perinteisissä isoissa teräsbetonipaaluissa (300 mm*300 mm), minkä seurauksena paalutuksen aiheuttamat tärinät jäävät pienemmiksi. Myöskään työmaalla paalutuskalustolle tehtävien työpöten eli murskepohjien ei tarvitse olla niin suuria kuin perinteisen paalutuskaluston kanssa. (Luja-pienpaaluohje n.d., 4.)



Kuva 2. Kuuden metrin pituinen Luja-pienpaalu (180*180 mm) odottamassa paalutusta työmaalla. (Kuva: Sami Patjas)

Perinteisessä teräsbetonipaalutuksessa työmaalle tilataan pohjatutkimuksen perusteella sopivan mittaiset paalut (maksimipituus 15 m). Tässä ongelma on saattaa syntyä paalun painuminen syvemmälle kuin pohjatutkimusten perusteella on oletettu, jolloin paalu joudutaan jatkamaan. Jos jatkosmahdollisuutta ei ole tehty tehtaalla paaluun, on paalun jatkaminen hidasta ja vaikeaa. Tämä johtuu siitä, että paalun yläpäästä joudutaan tuomaan rauditus esille ja sitten jatkososa valetaan paalun yläpäähän. Toinen ongelma perinteisessä teräsbetonipaalutuksessa on se, että jos paalut eivät painu niin syväälle kuin pohjasuunnitelmat ovat antaneet ymmärtää, syntyy työmaalla paaluista paljon hukkametrejä. Perinteisessä teräsbetonipaalutuksessa ylimääräiseksi jäänyttä paalun pätkää ei pystytä enää käyttämään seuraavalla paalutuspisteellä.

Luja-pienpaalussa nämä ongelmat on ratkaistu siten, että paalua ei tehdä pohjatutkimuksen mukaan sopivan mittaiseksi, vaan kaikki paalut varustetaan jatkoksella (Kuva 3) ja paalut ovat aina kuuden metrin mittaisia. Näin ollen paalun saavuttaessa kantavuuden se voidaan katkaista halutusta kohdasta ja jäljelle jäänyt paalunpätkä voidaan käyttää seuraavalla paalutuspisteellä juuri jatkettavuuden vuoksi. Ainoa ehto seuraavalla pisteellä käytettävällä paalupätkällä on, että sen on oltava yli metrin mittainen.



Kuva 3. Kuvassa Luja-pienpaalun jatkososat: vasemmalla jatkostappi, keskellä naarpää ja oikealla urospää. (Kuvat: Sami Patjas)

2.3.4 Teräsputkipaalu (90–163 mm)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään teräsputkipaaluja, jotka kilpailevat Luja-pienpaalun kanssa erilaisista työmaista. Näitä teräsputkipaaluja ovat lyötävät teräsputkipaalut. Kilpailevien teräsputkipaalujen kokoluokat menevät siten, että paalutyöluokassa 1 (helpot kohteet) teräsputkipaalun halkaisija on 90 mm ja paalutustyöluokassa 2 teräsputkipaalun halkaisija on välillä 115–163 mm. Teräsputkipaalujen valmistajia löytyy Suomesta useampia, esimerkiksi SSAB Oy eli entinen Rautaruukki Oy.

Teräsputkipaalujen varastokoot menevät siten, että halkaisijaltaan alle 115 mm:n teräsputkipaalut ovat 6 metriä pitkiä ja 115–163 mm:n teräsputkipaaluja valmistetaan sekä 6 metrin että 12 metrin pituisina. Teräsputkipaaluja voidaan jatkaa joko hitsaamalla tai holkkijatkoksella. Jos teräsputkipaalu joudutaan katkaisemaan ennen kuin se on uponnut koko pituudella

taan maahan, voidaan katkaisusta jäänyt pala sen ollessa yli yhden metrin pituinen käyttää seuraavassa paalutuspisteessä. (RR-paalutusohje, 2007)

2.4 Loppulyöntiohjeet

Maata syrjäyttävien esivalmistettujen paalujen loppulyöntejä suunnitellessa on arvioitava asennustavat, paalun pituus ja koko, järkäleen koko, järkäleen ja paalun suojaaminen iskusuojalla ja jousto-osalla sekä muut vaikuttavat tekijät paalun varteen kohdistuvan lyöntijännityksen osalta. Jos vaarana on paalun varren ylikuormitus, paalulle tulee suorittaa iskuaaltoanalyysi. Työmaalla suoritettavilla iskuaaltomittauksilla voidaan täydentää iskuaaltoanalyysiä. (RIL 254-2-2011, 177.)

Loppulyönneillä varmistetaan, että paalu saavuttaa täyden kestävyys- ja kantavuuden eri paalutustyyloissa. Paalun lähestyessä tavoitetasoa tai paalun painuman pienentyessä alkavat paalu ja järkäle yleensä pomppia. Tässä vaiheessa iskunpituus säädetään määriteltujen loppulyöntiohjeiden mukaiseksi. Loppulyöntiohjeet työmaalle antaa pohjarakennesuunnittelija.

Vaadittavat loppulyöntikorkeudet järkäletyypin mukaan antaa paalun valmistaja (Taulukko 2). Loppulyönnit suoritetaan yleensä kymmenen lyönnin sarjoina. Loppulyöntisarjojen määrä määritellään työmaakohtaisesti olosuhteiden mukaan. Jos paalun painautuminen pienenee hitaasti tai työmaan pohjaolosuhteet vaihtelevat huomattavasti, täytyy loppulyöntisarjoja olla useampia, jotta varmistetaan paalun tukeutuminen kantavaan maakerrokseen. Jos taas paalun painuma pienentyy nopeasti, lyödään sarjoja vain yksi. Esimerkiksi Luja-pienpaalun paalu saavuttaa täyden kestävyys- ja kantavuuden, kun painuma 10 lyönnin sarjalla on 5 mm tai vähemmän. Kun loppulyöntiarvo on saavutettu, voidaan paalutus kyseisen paalun kohdalla lopettaa. (RIL 254-2-2011, 204–205.)

Taulukko 2. Luja-pienpaalun loppulyöntiohjeet eri paalutustyöluokissa (Luja-pienpaaluohje 2013, 38).

7.7.2 Loppulyönnit paalutyyppi Lpp1

Taulukossa 7 esitetään järkäleen liikkuvan osan loppunopeudet ja loppulyöntipainumat paalutyyppille Lpp1 eri paalutustyöluokissa. Loppulyöntipainumat on esitetty 10:n lyönnin sarjan loppulyöntipainumana.

Taulukko 7. Paalutyyppin Lpp1 loppulyönnit, 10 lyönnin sarjan painuma [mm]

Paalutus- työluokka	Järkäleen loppunopeus [m/s]	Paalun pituus [m]					
		≤ 5	10	15	20	30	40
PTL1	2,8	13	12	12	11	11	11
PTL2	3,0	12	11	11	11	11	10

7.7.3 Loppulyönnit paalutyyppi Lpp2

Taulukossa 8 esitetään järkäleen liikkuvan osan loppunopeudet ja loppulyöntipainumat paalutyyppille Lpp2 eri paalutustyöluokissa. Loppulyöntipainumat on esitetty 10:n lyönnin sarjan loppulyöntipainumana.

Taulukko 8. Paalutyyppin Lpp2 loppulyönnit, 10 lyönnin sarjan painuma [mm]

Paalutus- työluokka	Järkäleen loppunopeus [m/s]	Paalun pituus [m]					
		≤ 5	10	15	20	30	40
PTL1	3,3	11	10	10	10	10	9
PTL2	3,6	11	11	11	11	10	10
PTL3	3,8	11	10	10	10	10	9

7.7.4 Loppulyönnit paalutyyppi Lpp3

Taulukossa 9 esitetään järkäleen liikkuvan osan loppunopeudet ja loppulyöntipainumat paalutyyppille Lpp3 eri paalutustyöluokissa. Loppulyöntipainumat on esitetty 10:n lyönnin sarjan loppulyöntipainumana.

Taulukko 9. Paalutyyppin Lpp3 loppulyönnit, 10 lyönnin sarjan painuma [mm]

Paalutus- työluokka	Järkäleen loppunopeus [m/s]	Paalun pituus [m]					
		≤ 5	10	15	20	30	40
PTL1	3,6	12	12	12	12	11	11
PTL2	3,8	12	12	12	12	11	11
PTL3	4,1	11	11	11	10	10	10

2.5 Paalutustyöluokat

Työmaalla käytettävän paalun rakenne määräytyy rasitus- ja kuormitustilat huomioivan paalutustyöluokan perusteella. Paalutustyöluokat jaetaan kolmeen eri luokkaan: paalutustyöluokka 1 (PTL1), paalutustyöluokka 2 (PTL2) ja paalutustyöluokka 3 (PTL3). Paalutustyöluokkien jako menee siten, että PTL1 tarkoittaa helppoja paalutuskohteita ja PTL3 erittäin vaativia kohteita. Esivalmistettujen paalujen ja paaluvareiden valmistajien on osoitettava valmistamansa paalun täyttävän käytettävän paalutustyöluokan vaatimukset. Paalutuskohteessa käytettävä paalutustyöluokka määräytyy kohteen geoteknisen luokan sekä kohteen seuraamusluokan perusteella (Taulukko 3). (RIL 254-2-2011, 100.)

Taulukko 3. Paalutustyöluokan määräytyminen geoteknisen luokan ja seuraamusluokan perusteella (RIL 254-2-2011, 100).

Geotekninen luokka	Seuraamusluokka		
	CC1	CC2	CC3
GL1	PTL1..(PTL3)	PTL2..(PTL3)	PTL2..(PTL3)
GL2	PTL1..(PTL3)	PTL2..(PTL3)	PTL3..(PTL3)
GL3	PTL2..(PTL3)	PTL2..(PTL3)	PTL3

Seuraamusluokka ilmaisee, millaista tuhoa rakennus aiheuttaisi sen sortuessa. Seuraamusluokat jaetaan kolmeen luokkaan siten, että seuraamusluokka CC1 tarkoittaa rakennuksia, joiden sortuminen ei aiheuta ihmishenkien menetyksiä. Tähän luokkaan kuuluvat rakennukset, joissa ei työkennellä päivittäin tai asuta. Luokassa CC2 on tuhojen määrä keksinkertainen. Tällä tarkoitetaan käytännössä asuin- ja toimistorakennusta, jonka kerrosluku on alle 20 kerrosta. Rakennuksen mahdollisesta sortumisesta aiheutuvat suuret aineelliset vahingot ja mahdolliset ihmishenkien menetykset kuuluvat seuraamusluokkaan CC3. Tämä tarkoittaa käytännössä yli 20-kerroksisia rakennuksia. (SFS-EN 1990, 2007, 6–7.)

2.6 Pohjatutkimusmenetelmät ja laadunvarmistusmenetelmät

2.6.1 Pohjatutkimuksen yleiset vaatimukset

Geoteknisten tutkimusten eli pohjatutkimusten on tuotettava riittävästi informaatioita työmaan ja sen ympäristön pohjaolosuhteista ja pohjavesiolosuhteista. Pohjatutkimuksesta saatava tieto on tärkeää, koska sen perusteella saadaan kuva maapohjan ominaisuuksista ja mitoituslaskelmiin käytettävästi parametreista. Pohjatutkimus on aina tehtävä siten, että se ulottuu tarpeeksi syvälle ja laajalle, jotta voidaan tunnistaa kaikki maapohjan kerrostumat ja muodostumat. Lisäksi pohjatutkimuksella varmistetaan siitä, että tunnetaan maan muodonmuutos- ja lujuusominaisuudet, joilla voi olla vaikutusta paalutustyön onnistumiseen sekä sujumiseen. Pohjatutkimuksen laajuutta selvittäessä tulee ottaa huomioon sekä kokemukset vastaavanlaisesta perustustyöstä samanlaisissa olosuhteissa että työmaan läheisyydessä mahdollisesti tehdyt pohjatutkimukset ja niiden tulokset. (RIL 254-2-2011, 35.)

Pohjatutkimuksien yhteydessä on myös tehtävä riittävästi selvityksiä lähirakenteista kuten johdoista, kaapeleista, putkista, rakennusten sijanneista ja kunnosta, perustamistavoista sekä painuma- ja värinäherkkyyksistä. Paalutustyön suunnittelua varten värinäherkät laitteet ja rakenteet selvitetään yleensä 30–50 metrin alueelta värinälähteestä eli paalutuskohteesta. Värinäherkät rakenteet ja mahdolliset laitteet kirjataan ylös, ja niille sallitut värinärajat selvitetään. Mahdollisuus värinävaimentaa herkät laitteet on myös selvittävä, jos on mahdollista, että laite voi vaurioitua paalutuksen yhteydessä. Lisäksi on selvittävä mahdolliset työaikoja koskevat rajoitukset, eli minä viikonpäivinä ja mihin aikaan paalutustyötä saa kohteessa tehdä. (RIL 254-2-2011, 35.)

Rakennushankkeen pohjarakennesuunnittelusta vastaavan suunnittelijan on huolehdittava pohjatutkimusten järjestelyistä ja riittävytydestä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että suunnittelijalle kuuluu käytettävien tutkimusmenetelmien valinta sekä tutkimuspaikkojen ja tutkimuspisteiden sijainnin ja määrän suunnittelu. Suunnittelijan on myös seurattava ja valvottava pohjatutkimuksen edistymistä ja tutkimustuloksia sekä tarvittaessa osattava täydentää tutkimustarpeita, jos siltä näyttää. (RIL 254-2-2011, 35.)

Geoteknisen tutkimuksen eli pohjatutkimuksen tulokset kootaan pohjatutkimusraporttiin, joka muodostaa osan geoteknisen suunnitteluraportin kokonaisuudesta. Pohjatutkimusraporttiin kuuluu sen tarpeellisuuden mukaan joko selostus, joka esittää kaiken käytettävissä olevan tutkimuksilla kerätyn geoteknisen tiedon mukaan lukien tutkitun kohteen geologiset ominaispiirteet tai kertyneen geoteknisen tutkimustiedon arvioinnin, jolloin tutkimustuloksista tehdään maaperän ominaisuutta arvioivia oletuksia. Pohjatutkimusraportissa on myös ilmoitettava tutkimustulosten tuomat mahdolliset rajoitukset. Jos pohjatutkimukset ovat suunnittelijan mielestä riittämättömät, voidaan pohjatutkimusraportissa ehdottaa aikaisemman pohjatutkimuksen lisäksi tarvittavat tutkimukset. Tällöin on myös perusteltava, miksi lisätutkimuksia tarvitaan. Tällaisiin tarvittaviin lisätutki-

muksiin on suunnittelijan tehtävä yksityiskohtainen tutkimussuunnitelma. Pohjatutkimusten yhteydessä tehdyt selvitykset lähirakenteista ja niiden kunnosta on kerrottava pohjatutkimusraportissa. Pohjarakennesuunnittelusta vastaavan on huolehdittava, että pohjatutkimusraportti on rakennuskohteeseen riittävä ja että se sisältää tarpeellisen tiedon mitoituksen ja suunnittelun suorittamiseksi rakennuskohteen vaativuus huomioon ottaen. (RIL 254-2-2011, 42–43.)

2.6.2 Kairausmenetelmät

Tärkeä osa pohjatutkimuksia ovat eri kairausmenetelmillä tehtävät tutkimukset. Näillä tutkimuksilla selvitetään rakennuskohteen maakerrokset ja niiden laatu, kalliopinnan sijainti sekä mahdollisen pohjavedenpinnan sijainti maassa. Kairausmenetelmät, joita Suomessa käytetään yleisesti, ovat paino-, heijari-, puristin-, siipi-, täry- ja porakonekairaus. Koska tässä opinnäytetyössä käsitellään lyöntipaaluja, näistä kairausmenetelmistä esitellään vain ne menetelmät, joiden kairaustuloksista voidaan suunnitella lyöntipaalujen käyttö. Tällaisia kairausmenetelmiä ovat paino-, heijari- ja porakonekairaus. Näissä kolmessa kairausmenetelmässä voidaan nykyään käyttää yhtä ja samaa monitoimikairauskoneetta (Kuva 4). (Jääskeläinen 2011, 242.)



Kuva 4. Suomessa yksi yleisimmin käytössä olevista monitoimikairoista, Geomachinen malli 50 GT (Geomachine n.d.).

Suomessa yleisin käytetty kairausmenetelmä on painokairaus. Painokaira pystyy antamaan maaperästä perustietoa pehmeiköltä aina keskitiivisiin moreenimaaperiin asti. Nykyään painokairauksia tehtäessä käytetään lähes aina telaketjuilla liikkuvia monitoimikairauskoneita käsikäyttöisten paino-

kairauskoneiden sijaan. Monitoimikairauskoneen ja käsikäyttöisen painokairakoneen toimintaperiaate on kuitenkin täysin sama. Kairaus aloitetaan alkukairauksella, jossa juurakkoinen tai routainen pintamaa puhkaistaan esimerkiksi lapiolla. Tämän alkukairauksen tavoitteena on mahdollistaa sujuva kairaus ja poistaa tulosta mahdollisesti vääristävät tekijät. Kun alkukairausreikä on saatu tehtyä, painetaan kairan kärki maahan ja mitataan kärjen syvyys maanpinnasta. Kun kairan kärki on asetettu maata vasten, katsotaan, painuuko kaira pelkillä painolla maaperään. Jos kaira painuu maahan painojen avulla, mitataan, millä minimipainomäärällä se niin tekee. Painosarjan yhteispaino on 100 kg, ja painokairan kuormitusarjaa voidaan muunnella. Kairan lopettaessa painumisen pelkkien painojen avulla sitä aletaan kiertää maaperään. Kiertäminen mitataan puolikierroksina. Aina kun kairan kärki on uponnut 20 cm kiertämällä, kirjataan ylös, kuinka monta puolikierrosta tämä 20 cm:n uppoaminen on tarvinnut. Kairan lopettaessa painumisen kiertämällä otetaan kairasta paino pois ja kairatangon päätä lyödään siihen tarkoitetulla nuijalla. Kairan lopettaessa painumisen lyömällä on kairaus päättynyt. Tämän jälkeen kairauksesta tehdään painokairauskuvaaja, joka näyttää maaperän kantavuuden ja jonka perusteella arvioidaan maaperän maalaji eri syvyyksissä. (Jääskeläinen 2011, 246–249.)

Heijarikairausta käytetään yleensä silloin, kun painokairalla ei pystytä kunnolla tunkeutumaan maahan. Tällaisia maita ovat tiiviit maaperät, kuten moreenimaat tai soraharjut. Heijarikairauksessa on ideana, että kairatankoon kiinnitettyä pidikettä vasten pudotetaan aina tietyn painoinen paino tietystä korkeudesta. Suomessa heijarikairauksessa käytettävän painon eli heijarin paino on aina 63,5 kg ja pudotuskorkeus on aina 50 cm. Nykyään heijarikairaukset suoritetaan lähes aina monitoimikairoilla. Heijarikairauksessa mitataan, montako heijarin pudotusta tarvitaan 50 cm:n korkeudesta, jotta kairatanko painuu maaperään 20 cm. Näiden iskujen määrällä saadaan käsitys siitä, millainen maakerros on kyseessä missäkin syvyydessä. Kairaus voi päättyä annettuun tavoitesyvyyteen, kiveen tai kallioon. Heijarikairauksen päättymisen rajana on myös pidetty sitä, että kaira painuu pidemmän aikaa alle 1 mm useammalla kuin yhdellä iskulla. Heijarikairauksilla ennakoidaan usein paalujen uppoamissyvyyksiä, koska heijarikairausta voidaan pitää itsekin pienoistaalutuksena. (Jääskeläinen 2011, 253–256.)

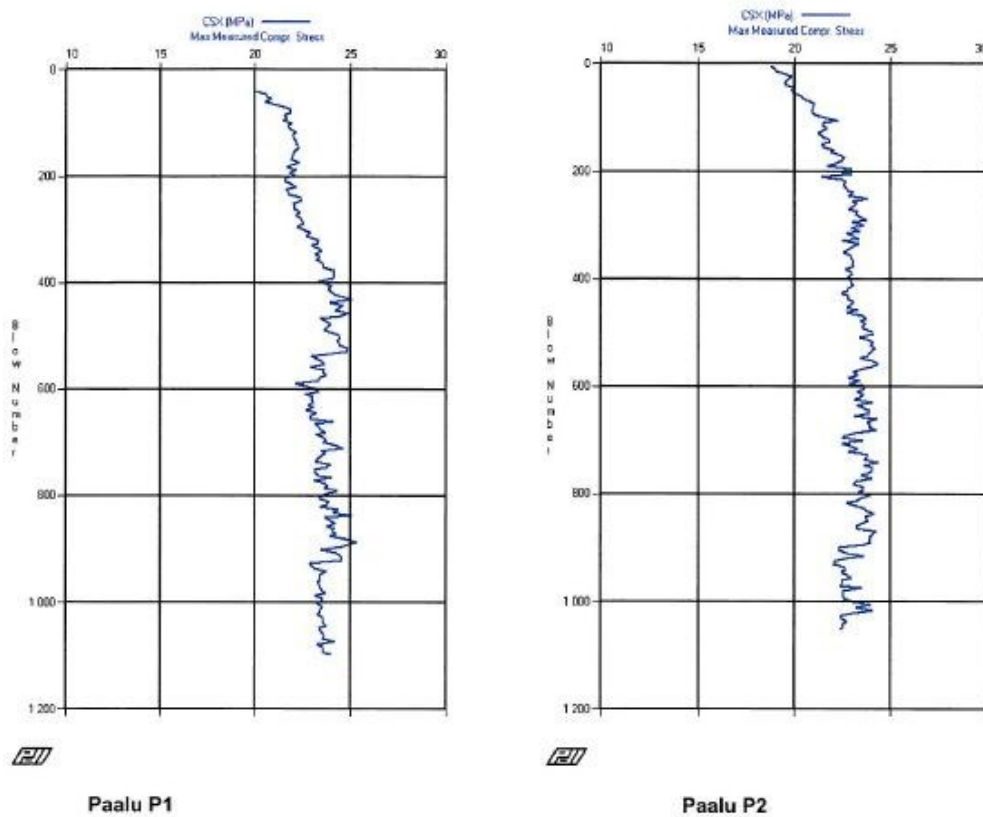
Porakonekairausta käytetään aina silloin, kun halutaan saada kallionpinnan sijainnista varma tieto suunnittelua varten. Muilla kairausmenetelmillä kallionpinnan sijainnista jää aina pieni epävarmuus. Porakonekairaus tarvitaan myös silloin, kun tutkittava maaperä on hyvin lohkarista ja muilla kairoilla ei välttämättä saada selvyyttä maaperän tilanteesta lohkariden pysäyttäessä kairausyritykset. Porakonekairaukset voidaan myös suorittaa monitoimikairoilla, jos se on varustettu porakonelaitteilla. Porakonekairauksen osuessa oletettuun kallioon varmistetaan kallion olemassaolo poraamalla kallioon reikää useamman metrin matkan. Tällä varmistetaan, ettei kyseessä ole iso kiven lohkar. (Jääskeläinen 2011, 253–256.)

2.6.3 PDA-mittaus

PDA-mittauksella (Pile Driving Analysis) eli dynaamisella koekuormituksella voidaan todentaa paalun geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo ja arvioida paalun ehjyyttä. PDA-mittaus suoritetaan siten, että paaluun kiinnitetään yläpäähän anturit (Kuva 5), jotka ovat yhteydessä mittauspääteeseen. Tämän jälkeen paaluun annetaan isku järkäleellä tietyistä korkeudesta, jolloin paaluun kiinnitetyt anturit rekisteröivät iskun ja mittaavat paalun alapäässä vaikuttavaa murtovoimaa sekä paalun mahdollista rikkoutuneisuutta. PDA-mittauksella saatava paalun geotekninen kantokyvyn arvo ei ole ehdoton tai yksiselitteinen. Dynaamisessa koekuormituksessa mitataan maasta paaluun kohdistuvaa kokonaislyöntivastusta (Kuva 6), josta mittauksen tekijä tulkitsee tai määrittelee maasta paaluun kohdistuvan staattisen vastuksen. Geoteknisen suunnittelijan on määritettävä PDA-mittauspöytäkirjan sekä pohjatutkimusten perusteella paalun geotekninen murtokuorma tai paalulle sallittava maksimikuorma. (RIL 233-2005, 110.)



Kuva 5. Kuvassa paaluun kiinnitettävät PDA-anturit (Soil Investigation Pte LTD n.d.).



Kuva 6. Esimerkki PDA-mittauksesta saatavista tuloksista (Lujabetoni Oy PDA-mittausraportti 28.10.2010).

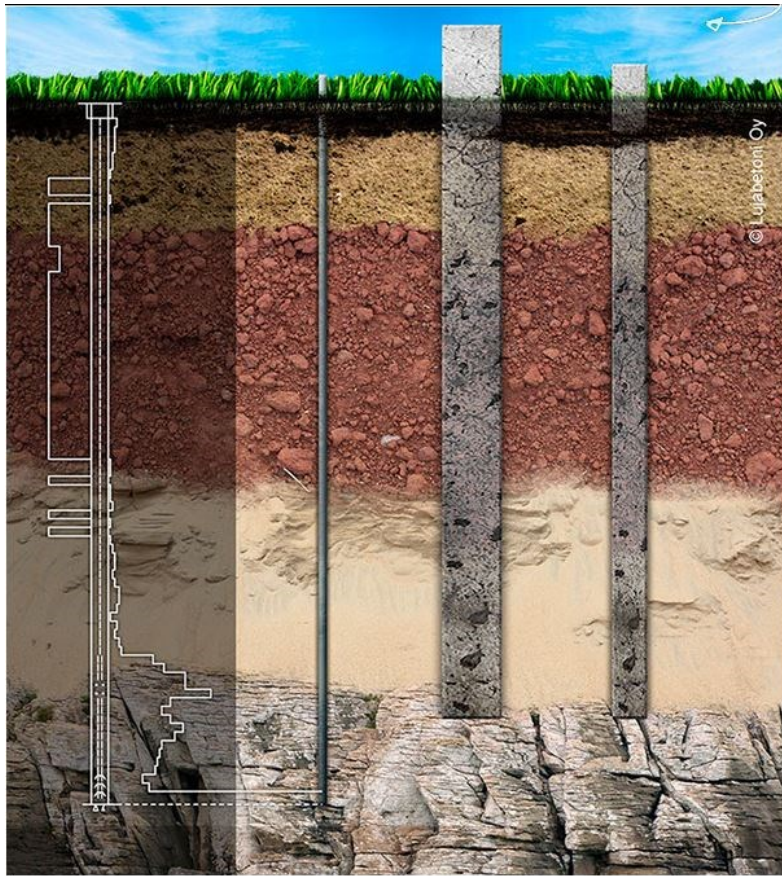
2.6.4 Tarkemittaus

Tarkemittauksella mitataan ja dokumentoidaan paalutettujen paalujen lopullinen sijainti, korkeustasot ja kaltevuus. Tarkemittauksissa paalun sijainti ja korkeustaso saadaan takymetriä käyttäen, ja paalun kaltevuus mitataan paalutusvaiheessa. Tarkemittauksia tehdään, jotta saadaan selville paalujen mahdolliset sijaintipoikkeamat ja niiden vaikutus rakennesuunnitelmiin. Paalujen sijaintipoikkeamien ollessa suurempia kuin suunnitelmassa on sallittu on vastaavan pohjarakennesuunnittelijan tarkistettava ja laskettava, miten sijaintipoikkeama vaikuttaa paaluihin ja rakenteisiin syntyviin rasituksiin. Laskelmien ja tarkastelun perusteella suunnittelija päättää, tarvitaanko mahdollisia lisäpaaluja tai lisärakenteita sijaintipoikkeamista johtuen vai voidaanko rakenne vielä hyväksyä sijaintipoikkeamista huolimatta. (RIL 254-2-2011, 239.)

3 VERTAILUSSA LUJA-PIENPAALU JA VASTAAVAN KANTAVUUDEN TERÄSPUTKIPAALU

3.1 Menekkierot ja niiden syyt

Jos samalla työmaalla käytettäisiin niin Luja-pienpaalua kuin teräsputkipaalua, huomattaisiin, että teräsputkipaalua kuluu metrimääräisesti enemmän kuin Luja-pienpaalua. Tämä johtuu siitä, että Luja-pienpaalu saavuttaa kantavuuden aikaisemmin kuin teräsputkipaalu. Syy tähän on se, että teräsbetonipaalulla on monikertaisesti suurempi kantavan kärjen pinta-ala kuin ontoilla teräsputkipaaluilla. Näin ollen teräsputkipaalu tunkeutuu myös tiukkojen maa-aineskerrosten läpi aina kallioon saakka, toisin kuin Luja-pienpaalut, jotka kantavat jo tiukoissa maa-aineskerroksissa (Kuva 7).



Kuva 7. Teräsputkipaalu (kuvassa vasemmalla) tunkeutuu syvemmälle kuin Luja-pienpaalu (kuvassa oikealla), jolloin sen menekki on suurempi työmaalla (Lujabetoni Oy n.d.a).

Menekkieroa voi myös syntyä perustamisolosuhteiden ollessa haastavia. Tällaisia haastavia perustamisolosuhteita ovat esimerkiksi maa-alueet, jotka kätkevät sisäänsä paljon irtolohkareita. Paalutettaessa tällaista maa-alueutta teräsbetonipaaluilla saattaa käydä niin, että paalu pysähtyy yllättäen irtolohkareeseen ja paalu hajoaa sen seurauksena (Kuva 8). Tällaista teräsbetonipaalua ei voida enää käyttää rakenteiden perustamiseen, vaan rikkoutunut paalu pitää joko poistaa tai yrittää löydä viereen toinen paalu,

joka ohittaa irtolohkareen. Tällöin syntyy ylimääräistä hukkaa paalutusmetreissä. Tällaisissa olosuhteissa paalutettaessa taas teräsputkipaaluille ongelmaa ei yleensä synny, koska teräsputkipaalu pystyy tunkeutumaan irtolohkareen läpi, jos se ei ole liian suuri.



Kuva 8. Työmaalla maan alla sijaitsevaan kivenlohkareeseen hajonnut Luja-pienpaalu. (Kuva: Sami Patjas)

Jos vertaillaan Luja-pienpaalun ja teräsputkipaalun menekkieroja ajassa (metriä/työvuoro), joka kestää paaluttaa kumpaakin eri paalutyyppejä, on teräsputkipaalu hieman nopeampi paaluttaa tiettyyn kokoluokkaan asti. Tarkkoja mittauksia paalutusnopeuksista eri paalutyypeille ei ole, mutta paalutusurakoitsijoita haastateltaessa Petri Sundberg Neliyhtymä Oy:ltä ja Jaakko Kontiainen Maanrakennus Jari Knuutila Oy:ltä arvioivat, että pienemmän kokoluokan teräsputkipaalu (90–115 mm) saataisiin paalutettua 0–18 metriä/työvuoro enemmän kuin Luja-pienpaalu. 140–163 mm halkaisijaltaan olevia teräsputkipaaluja taas paaluttajan mukaan saadaan työvuorossa paalutettua 0–18 metriä/työvuoro vähemmän kuin Luja-pienpaalu. Tämä johtuu siitä, että 140 mm:n ja suurempien teräsputkipaalujen jatkaminen hidastuu huomattavasti verrattuna pienempiin teräsputkipaaluihin. Paalutusurakoitsijoille tehdystä haastattelusta pyydettiin urakoitsijoita arvioimaan paalujen tunkeutumista ”ihanneolosuhteissa” eli ti-

lanteessa, jossa paalutus sujuisi ilman häiriöitä paalun tunkeutumisen osalta.

3.2 Haastattelututkimus

Haastattelututkimus tehtiin Luja-pienpaalun menekkieroista verrattuna vastaavan kantavuuden teräsputkipaaluihin sekä menekkierojen mahdollisesti aiheuttamista kustannuseroista työmaalla. Lisäksi haastattelujen avulla yritettiin saada selville paaluttajaurakoitsijoilta, voisiko Luja-pienpaalutuksen sujumista jotenkin vielä tehostaa työmailla. Haastattelut tehtiin kahdelle eri paalutusyritykselle, jotka molemmat paaluttavat sekä Luja-pienpaaluja että erikokoisia teräsputkipaaluja. Kun haastattelut tehdään toimijoille, jotka paaluttavat molempia paalutyyppejä, saadaan mahdollisimman puolueettomat tulokset eri paalutyyppeiden hyvistä ja huonoista puolista sekä niiden paalutustehokkuudesta, koska paaluttajilla on kokemusta molemmista paalutyypeistä. Haastattelukysymykset paalutusurakoitsijoille ja heidän vastauksensa kysymyksiin löytyvät opinnäytetyön lopusta liiteosiosta (Liitteet 1 ja 2).

3.3 Haastattelujen tulokset

3.3.1 Luja-pienpaalun ja teräsputkipaalun paalutusnopeudet

Ensimmäisenä haastattelussa kysyttiin paalutusurakoitsijoilta, kumpi on heidän mielestään nopeampi paaluttaa, Luja-pienpaalu vai teräsputkipaalu (koot 90–163 mm). Tähän kysymykseen ei saatu yhtä yhtenäistä vastausta, koska paalutuksen nopeus johtuu niin monesta eri tekijästä, kuten teräsputkipaalun koosta. Sellaisen käsityksen haastateltavilta kuitenkin sai, että jos molemmat paalutyypit lyödään kallioon saakka, on teräsputkipaalu nopeampi paaluttaa kuin Luja-pienpaalu. Jos taas ennen kalliota on esimerkiksi kova moreenikerrostuma, on Luja-pienpaalun paaluttaminen nopeampaa, koska se pysähtyy jo moreenikerrokseen toisin kuin teräsputkipaalu, joka jatkaa aina kallioon saakka. Lisäksi paalutuksen nopeuteen vaikuttaa teräsputkipaalun koko. 140 mm ja sitä suuremmat halkaisijaltaan olevat teräsputkipaalut täytyy katkaista polttoleikkaamalla, jolloin sen paaluttaminen on hitaampaa ja myös kalliimpaa.

3.3.2 Luja-pienpaalun ja teräsputkipaalun jatkettavuus

Haastattelussa pyydettiin myös vertailemaan Luja-pienpaalun ja teräsputkipaalun jatkettavuutta, varsinkin jatkettavuuden helppoutta ja nopeutta. Tällä kysymyksellä halusin selvittää, onko paaluttajien mielestä jatkoksen teossa paljon eroa ja sitä kautta, tuoko se kustannuksia jommankumman paalutukseen enemmän. Paaluttajien mukaan teräsputkipaalun jatkaminen on nopeampaa halkaisijaltaan alle 140 mm:n paaluilla, jolloin se on myös ajallisesti kustannustehokkaampaa kuin Luja-pienpaalun jatkaminen. Kun taas mennään halkaisijaltaan 140 mm ja isompiin teräsputkipaaluihin, on Luja-pienpaalun jatkaminen nopeampaa, koska teräsputkipaalu täytyy polttoleikata ja leikatun palan käyttö seuraavassa paalutuspaikassa on

hankalaa epätasaisen leikkauspään vuoksi. Lisäksi teräsputkipaaluissa mahdollisesti käytettävät paaluhatut ja paalukärjet nostavat paalun hintaa verrattuna Luja-pienpaaluun.

3.3.3 Luja-pienpaalun hyvät puolet ja teräsputkipaalun hyvät puolet paalutettaessa

Haastateltavilta kysyttiin myös mielipidettä siitä, mitkä ovat heidän mielestään Luja-pienpaalun hyvät puolet verrattuna teräsputkipaaluihin sekä siitä, mitkä ovat heidän mielestään teräsputkipaalun hyvät puolet verrattuna Luja-pienpaaluihin. Luja-pienpaalun hyvinä puolina nähtiin ainakin se, että ne saavuttavat yleensä kantavuuden nopeammin kuin teräsputkipaalut. Lisäksi paaluttajat kertoivat Luja-pienpaalun kestävänsä paremmin paaluttaessa, kun taas teräsputkipaalut ja varsinkin pienemmän koon teräsputkipaalut saattavat vääntyä paaluttaessa. Luja-pienpaalua pidettiin myös paaluttajien mielestä tukevampana, varsinkin kohteissa jossa paalu tunkeutuu syvälle. Lisäksi Luja-pienpaalu ei tarvitse erillisiä paalukärkiä ja -hattuja. Teräsputkipaalun hyvänä puolena pidettiin jatkoksen teon nopeutta varsinkin pienemmissä kokoluokissa (<140 mm). Lisäksi teräsputkipaaluista jäävien hukkapalojen kierrättäminen on helpompaa kuin Luja-pienpaaluista jäävien hukkapalojen, koska Luja-pienpaalu koostuu suurimmaksi osaksi betonista, joka on ongelmajätettä.

3.3.4 Luja-pienpaalun ja teräsputkipaalun kustannuserot paalutettaessa

Kysyttäessä haastateltavilta, kumpi on kustannustehokkaampaa paaluttaa, Luja-pienpaalu vai teräsputkipaalu, saatiin toiselta paaluttajalta vastaukseksi, että asia riippuu paljon kohteesta ja kohteen pohjatutkimuksen tuloksista. Toinen paaluttajista taas oli sitä mieltä, että Luja-pienpaalu on kustannustehokkaampaa paaluttaa kuin teräsputkipaalu. Hänen kokemuksensa mukaan kustannusero on kuitenkin vähäinen varsinkin verrattuna pieniin teräsputkipaaluihin. Lisäksi hän mainitsi, että teräsputkipaalujen paaluhatun ja -kärjen osuus lisää kustannuseroa Luja-pienpaalun hyväksi varsinkin kohteissa, joissa paalutussyvytydet ovat pieniä. Hänen mielestään myös Luja-pienpaalusta syntyy vähemmän hukkaa kuin teräsputkipaaluista.

3.3.5 Luja-pienpaalun käyttökohteet ja haasteet kilpailussa työmaista teräsputkipaaluun vastaan

Haastattelussa haluttiin myös tietää, minkälaisiin kohteisiin ja miksi paaluttajat tarjoaisivat suunnitellun teräsputkipaalutuksen sijaan Luja-pienpaalua korvaavaksi tuotteeksi. Esille tulivat kohteet, joissa pohjatutkimuksessa on havaittu ennen kalliota olevan hyvin kantava moreenikerros, johon Luja-pienpaalu voidaan perustaa. Tällöin säästetään paalutusmetreissä ja paalutusajassa huomattavasti, mikä taas vaikuttaa paalutuksen hintaan. Myös kohteisiin, joissa paalut tunkeutuvat syvälle, kertoi toinen paaluttajista suositteluvansa Luja-pienpaalua.

Paaluttajilta kysyttiin myös asiakkaiden suhtautumista eri paalutusratkaisuihin sekä sitä, onko paaluttajilla tullut vastaan jotain ennakkoluuloja eri paalutusratkaisuja kohtaan. Toinen paaluttajista vastasi, että Luja-pienpaalua kohtaan on ollut ennakkoluuloja ja epäilyksiä paalun kestävyydestä paalutuksen aikana. Toinen paaluttajista taas oli huomannut, että omakotitalojen perustuksien suunnittelijat yleensä suosivat teräsputkipaaluja. Syyksi tähän hän epäili, että suunnittelijoilla ei ole tarpeeksi kokemuksia Luja-pienpaalusta ja sen paalutuksesta. Lisäksi suunnittelijoilla on käsitys, että teräsbetonipaalaus aiheuttaa enemmän tärinöitä ympäristöön kuin teräsputkipaalaus. Joissain tapauksissa asia onkin näin, että teräsbetonipaalun paalaus aiheuttaa enemmän tärinöitä kuin teräsputkipaalaus, mutta harvoin teräsbetonipaalun paalutuksessa kuitenkaan syntyy niin paljon tärinöitä, etteikö sitä sen vuoksi pystyttäisi työmaalla tekemään.

4 CASE-OSUUS: SISCO OY:N RIVITALOTYÖMAA KLAUKKALASSA

Case-osuudessa haastateltiin Sisco Oy:n työnjohtajaa Jari Komulaista, jonka rivitalotyömaalla päädyttiin pohjatutkimusten perusteella paalutukseen. Paalutustavaksi valikoitui Luja-pienpaalaus, jota Komulaisen kerroman mukaan on käytetty Siscon työmailla vuodesta 2014 lähtien. Rivitalotyömaa sijaitsee Klaukkalan Pikimetsäntiellä. Haastattelu tehtiin sähköpostin välityksellä, eli lähetin Jari Komulaiselle haastattelukysymykset (Liite 3) ja hän vastasi kyselyyn parhaansa mukaan. Haastattelun ideana oli selvittää, miksi Sisco Oy on päätenyt Luja-pienpaaluun työmaillaan ja mitkä heidän mielestään ovat hyviä ja huonoja puolia Luja-pienpaalutuksessa. Lisäksi haastattelussa haluttiin selvittää, mistä rakennuttajan mielestä Luja-pienpaalutuksen kustannukset syntyvät ja voisiko heidän mielestä niitä vielä jotenkin tehostaa työmailla.

Sisco Oy on erikoistunut puumoduulirakentamiseen, mikä tarkoittaa, että he esivalmistavat rivitalojen rungot osissa eli moduuleissa tehtaalla ja tuovat sitten valmiit moduulit työmaalle paikoilleen asennettavaksi. Komulaisen mukaan he ovat havainneet paalutusta vaativissa kohteissa, että Luja-pienpaalu on heille paras vaihtoehto, koska sen kantavuus on riittävä heidän puurunkoisille rakennuksilleen. Luja-pienpaalun valinnasta Komulainen kertoi, että heillä on muitakin syitä kuin pelkkä kilpailukykyinen hinta verrattuna saman kantavuuden teräsputkipaaluun.

Yksi syy hänen mukaansa on, että teräsputkipaaluun verrattuna Luja-pienpaalussa on paljon suurempi kärkivastus. Tällöin se saavuttaa vaaditavan kantavuuden aikaisemmin kuin teräsputkipaalu, mikä takaa sen, että paalumetrejä syntyy paljon vähemmän ja näin ollen saavutetaan säästöä paalutusmetreissä. Itse Luja-pienpaalun paaluttaminen on hieman hitaampaa kuin teräsputkipaalun, mutta Komulaisen mukaan paalutuksen nopeus ajatellen seuraavia työvaiheita on silti tarpeeksi nopeaa.

Kysyttäessä Komulaiselta, mikä hänen mielestään tekee Luja-pienpaalutuksesta kilpailukykyisen hinnaltaan verrattuna teräsputkipaaluun, näki hän yhtenä vaikuttavana asiana paalutuskaluston koon, joka hä-

nen sanojensa mukaan on järkevän kokoista ja painoista, jolloin ei tarvita kohtuuttoman kokoisia paalutuspetejä työmaalla. Näin ollen säästetään materiaaleissa ja sitä kautta myös kustannuksissa.

Haastattelussa kysyttiin myös Komulaiselta, mitkä ovat hänen omat kokemuksensa Luja-pienpaalun ja teräspuutkipaalun metrihinnasta ja onko niiden metrihinnassa suuria eroja. Hänen mielestään tähän ei ollut yhtä oikeaa vastausta, koska eri paalujen metrihinnat vaihtelevat niin paljon kohteen koon ja paalutuspituuden mukaisesti. Lisäksi paalutuspaikan sijainnilla on vaikutusta paalutuksen hintaan.

Työmaalle paalutuksesta tarjottu hinta perustuu suurelta osin pohjatutkimuksen antamiin tuloksiin eli siihen, kuinka syvällä maassa sijaitsee kallio tai kantava maa-ainekerros, johon paalut voidaan perustaa. Tämän tutkimuksen perusteella arvioidaan tarvittavan paalun määrä metreinä. Tämä taas vaikuttaa paalutuksen hintaan siten, että mitä enemmän paalutettavaa on, sitä edullisemmaksi metrihinta muodostuu. Haastattelussa tiedusteltiin myös lopullisia paalutusmetrejä ja kenen – suunnittelijan, pohjatutkimuksen vai paaluttajan – arvioiden kanssa paalutusmetrit olivat lähimpänä. Kysymykseen Jari Komulainen vastasi näin: ”Maaperätutkimukseen verrattuna paalupituudet jäivät kohteissa huomattavasti lyhyemmiksi, myös paaluttajan arvio alittui jonkin verran.” Näissä työmaakohteissa siis rakennuttaja säästi, koska metrihintaa oli annettu paaluttajan menekkiarvion mukaan. Mitä enemmän arvioidaan paalua menevän, sitä edullisemmaksi hinta muodostuu.

5 LUJA-PIENPAALUTUSTYÖN KUSTANNUSTEN OPTIMOINNIN TUTKIMUSTULOKSET

Opinnäytetyössä tehtävänä oli selvittää, mistä Luja-pienpaalutuksen kustannukset työmailla syntyvät ja voisiko työmailla syntyviä kustannuksia jotenkin pienentää. Opinnäytetyössä vertailtiin myös Luja-pienpaalutuksen ja kilpailevan teräspuutkipaalun kustannuksia, joiden kautta yritettiin selvittää, miten Luja-pienpaalu voisi kilpailla vielä paremmin työmaista teräspuutkipaaluja vastaan.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että Luja-pienpaalutuksen kustannukset työmaille syntyvät monesta eri tekijästä. Suurin vaikuttaja Luja-pienpaalutuksen kustannuksiin ovat työmaan pohjaolosuhteet. Tämä vaikuttaa niin paalutuksen nopeuteen kuin paalutuksen onnistumiseen, ja sitä kautta paalutuksen kustannuksiin. Jos pohjaolosuhteet ovat Luja-pienpaalulle haasteelliset, esimerkiksi maan sisässä on paljon kivenlohkareita. Tämä hankaloittaa paaluttamista huomattavasti, jolloin myös paalutuksen kustannukset kasvavat. Tärkeää onkin, että ennen paalutuksen aloittamista tehdään työmaalla pohjatutkimukset ja että pohjatutkimukset tehdään työmaalla tarpeeksi laajasti. Tutkimuspisteitä on siis oltava tarpeeksi, jotta paalutukseen ryhdyttäessä ja paalutuksen aikana ei tulisi yllätyksiä pohjaolosuhteiden suhteen.

Pohjatutkimuksen teon jälkeen paaluttajan on erittäin tärkeää perehtyä pohjatutkimukseen huolellisesti, jotta hän voi suunnitella paalutukseen tarvittavan ajan ja paalutarpeen. Jos arvioita paalumenekistä ja paalutukseen tarvittavasta ajasta ei tehdä huolellisesti, voi työmaan paalutuskustannukset kasvaa huomattavasti, kun paalutukseen meneekin enemmän aikaa ja paalumetrejä kuin on suunniteltu. Pohjatutkimukseen perehtyessä paaluttajan on myös hyvä huomioida, onko kairauksessa törmätty mahdollisesti moreenikerrokseen ja pystyttäisiinkö Luja-pienpaalut perustamaan jo tähän moreenikerrokseen alempana olevan kallion sijaan. Tällöin säästöä tulisi ajallisesti paaluttajalle ja paalutusmetreissä tulisi säästöä rakennuttajalle. Näin ollen myös Luja-pienpaalu olisi teräsputkipaaluun verrattuna parempi ja edullisempi vaihtoehto, koska teräsputkipaalu ei pysty perustamaan moreenikerrokseen heikon kärkivastuksen vuoksi.

Ennen paalutuksen aloittamista on hyvä myös varmistaa, että kaikki tarvittavat työkoneet toimivat ja että työkoneet on huollettu. Tällöin pystytään pienentämään riskiä, että paalutuksen aikana jokin työkoneista hajoaa ja näin ollen työt pysähtyvät. Kaikkeahan ei pystytä huolloillakaan estämään, mutta ainakin on yritetty, kun huollot on tehty ajallaan. Lisäksi on tärkeää varmistaa, että työmaalla on tarpeeksi paaluja työn aloittamiseksi ja työn jatkumiseksi koko työvuoron ajan. Tavoite on, että paaluja olisi työmaalla paalutuksen alkaessa vähintään 2–3 päivän paalutustarpeisiin, mieluiten kuitenkin koko viikon tarpeisiin. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista työmaiden säilytystilojen rajallisuuden vuoksi. Tällöin paaluttajan on huolehdittava, että paaluja saapuu työmailla tarpeeksi usein, jotta paalutus voi jatkua koko ajan ongelmitta.

Haastattelututkimuksen perusteella tuli ilmi, että Luja-pienpaalun paaluttaminen on hitaampaa kuin kilpailevan teräsputkipaalun (90–163 mm). Luja-pienpaalu ei siis pysty kilpailemaan työmaista nopeudellaan teräsputkipaaluihin verrattuna. Asia, jolla Luja-pienpaalu kuitenkin pystyy kilpailemaan, on paalujen valmistuskustannukset. Luja-pienpaalun valmistuskustannukset metriä kohden ovat pienemmät kuin teräsputkipaalun. Tämä johtuu siitä, että teräsputkipaaluihin on aina valmistettava myös paa-
luhattu ja paalukärki, jotka lasketaan teräsputkipaalun metrihintaan.

Haastatteluiden avulla tutkittiin myös, onko Luja-pienpaalun jatkoksen teolla suurta merkitystä kustannuksiin ja paalutusnopeuteen verrattuna kilpailevaan teräsputkipaaluun. Tutkimuksessa ei käynyt selville, paljonko jatkoksen teko eri paaluihin maksaa. Se saatiin kuitenkin selvitettyä, että koon 90–115 mm teräsputkipaaluihin jatkoksen teko on nopeampaa kuin Luja-pienpaaluun. Tämä taas vaikuttaa paalutuksen keston, jolla on suora vaikutus paalutuksen kustannuksiin. Teräsputkipaalun ko'oissa 90–115 mm jatkoksen teko on siis kustannustehokkaampaa kuin Luja-pienpaalun jatkoksen teko. Kun taas mennään vertailussa teräsputkipaaluihin, joiden koko on 140–163 mm, hidastuu paaluttaminen huomattavasti. Tämä johtuu siitä, että teräsputkipaalu joudutaan katkaisemaan polttoleikkaamalla, jolloin katkaistu teräsputkipaalun jatkokäyttö seuraavassa paalutuspisteessä on vaikeampaa, koska polttoleikattu pää joudutaan hiomaan tasaiseksi ennen kuin siihen voi asentaa paalukärjen. Tällöin Luja-pienpaalun jatka-

minen ja käyttö seuraavassa pisteessä tulee nopeammaksi ja sitä kautta kustannustehokkaammaksi.

Ennen paaluttamisen lopettamista on hyvissä ajoin varmistettava, onko suunnittelija vaatinut paalutetuille paaluille tehtävän PDA-mittauksia. Jos suunnittelija vaatii PDA-mittauksia, pitää ne tilata hyvissä ajoin ennen paalutuksen lopettamista. Tällöin paalutuskoneiden ei tarvitse seistä odotamassa työmaalla PDA-mittauksia, vaikka työt olisivat muuten tehtyinä. Näin säästetään paljon aikaa ja rahaa. Myös paalun sijaintien mittaus eli tarkemittaus on hyvä tilata ajoissa sekä tehdä jo paalutuksen aikana siltä osin, kun se pystytään tekemään. Paalujen tarkemittauksien perusteella suunnittelija selvittää paalujen kantavuuden ja sitä kautta mahdollisen lisäpaalujen tarpeen. Jos tarkemittaus tehdään paalutuksen valmistuttua ja paalutuskaluston poistuttua uudelle työmaalle ja tämän jälkeen huomaatankin, että lisäpaalutusta tarvitaan, tulee lisäkustannuksia huomattavan paljon niin seuraavan työmaan aloituksen siirtämisestä kuin paalutuskaluston siirtämisestä takaisin työmaalle.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET (YHTEENVETO)

Haastatteluista saatujen tietojen ja omien kokemusteni perusteella voidaan sanoa, että Luja-pienpaalutus tehdään tällä hetkellä jo työmailla kustannustehokkaasti. Aina kuitenkin löytyy parannettavaa, niin tässäkin tapauksessa. Tärkein asia paalutustyön kustannustehokkaan onnistumisen kannalta työmailla on, että töiden eteneminen suunnitellaan huolellisesti ennen aloittamista. Tällä tarkoitetaan, että pohjatutkimukset tehdään työmailla tarpeeksi laajasti ja että pohjatutkimuksien tuloksiin perehdytään huolellisesti. Tämä vähentää työn aikana mahdollisesti ilmeneviä ongelmia ja sitä kautta paalutuskustannusten kasvamista. Tärkeää on myös, että paalutus-aikataulua ei tehdä työmailla liian tiukaksi ja että paalutus aloitetaan tarpeeksi ajoissa. Tällöin mahdollisiin paalutuksen aikana tuleviin ongelmiin kuten konerikkoon tai maaperän yllätyksiin ehditään reagoimaan siten, että työmaan aikataulu ei siitä kärsi. Lisäksi työntekoon ja työsuorituksen tarpeeksi aikaa varaaminen lisää myös työturvallisuutta.

Vertailtaessa haastattelututkimusten avulla Luja-pienpaalujen ja kilpailevien teräsputkipaalujen (koot 90–163 mm) kustannusten tekijöitä työmaille ja sitä, missä Luja-pienpaalu voisi parantaa tekemistään parantaakseen kilpailukykyä teräsputkipaaluja vastaan, tultiin seuraavaksi esiteltäviin johtopäätöksiin: Luja-pienpaalu ei pysty kilpailemaan työmaista välttämättä nopeudellaan varsinkaan halkaisijaltaan 90–115 mm olevien teräsputkipaalujen kanssa. Luja-pienpaalu kuitenkin saavuttaa yleensä kantavuuden teräsputkipaaluja aikaisemmin isomman kärkivastuksensa ansiosta, jolloin Luja-pienpaalua menee työmailla vähemmän kuin teräsputkipaalua menisi. Tämä taas vaikuttaa suoraan kustannuksiin työmailla paalumetreissä. Haastatteluiden perusteella selvisi myös, että Luja-pienpaalu on paalutusurakoitsijoiden mielestä kustannustehokkaampaa paaluttaa kuin teräsputkipaalu. Hinnan ero syntyi teräsputkipaaluissa tarvittavista paaluhatuista ja -kärjistä, jotka nostavat teräsputkipaalun kustannuksia. Luja-pienpaalua paaluttaessa ei käytetä paaluhattuja ja paalukärkiä, jolloin näistä ei myöskään synny kustannuksia.

Luja-pienpaalu on Suomen paalutustyömailla vielä aika uusi keksintö. Sen etuina verrattuna perinteiseen teräsbetonipaaluun (koot 250 mm*250 mm ja 300 mm*300 mm) on sen pienempi koko (180 mm*180 mm). Tällöin työmailla ei tarvita läheskään yhtä isoa paalutuskalustoa, ja paalutuskalustolle tehtävien paalutuspetienkään ei tarvitse olla niin isoja, minkä vuoksi työmailla säästetään rahaa. Lisäksi Luja-pienpaalun etuna verrattuna perinteiseen teräsbetonipaaluun on sen jatkettavuus. Työmailla on yleinen käsitys, että teräsbetonipaaluja paalutettaessa jää paaluista aina paljon hukkaa, jota ei voida enää käyttää. Luja-pienpaaluilla tätä hävikkiä ei pääse syntymään juuri sen jatkettavuuden takia. Luja-pienpaalun olisikin tärkeää saada markkinoitua ja mainostettua tilaajille ja suunnittelijoille tätä jatkettavuuden mahdollisuutta, ja tämän avulla saada hälvennettyä käsitystä siitä, että teräsbetonipaalusta jää aina paljon hukkametrejä paaluttaessa. Mainostamisella mediassa päästään tiettyyn pisteeseen asti, mutta tärkein tapa, jolla Luja-pienpaalu saa tunnettavuutta, on itse työ ja sen kautta tilaajien ja suunnittelijoiden saamat kokemukset. Lisäksi on tärkeää, että Luja-pienpaalua paaluttavat paalutusurakoitsijat tarjoavat työmailla vaihtoehtoksi Luja-pienpaalua, jos he näkevät, että sille on tarvetta ja että paalutustyö voisi onnistua halvemmalla käytettäessä Luja-pienpaalua kuin aiemmin suunniteltua paalutustapaa.

LÄHTEET

Geomachine (n.d.). Geomachinen malli GT 50. Haettu 18.1.2017 osoitteesta http://geomachine.fi/GM_50_GT_FI

Jääskeläinen, R. (2010). *Geotekniikan perusteet*, 3.painos. Tampere: Tammertekniikka/Amk-kustannus Oy.

Luja Oy (2014). Vuosikertomus 2014. Viitattu 29.2.2016.
https://issuu.com/luja-yhtiot/docs/luja-vuosikertomus_2014-jmar

Lujabetoni Oy (2010). Esimerkki PDA-mittauksista saatavista tuloksista. Luja-pienpaalutuksen PDA-mittausraportti 28.10.2010. Saatavissa Lujabetoni Oy:n tietojärjestelmistä.

Lujabetoni Oy (2013). Luja-pienpaaluohje. Kuin kalliolle rakentaisit. Haettu 05.05.2016 osoitteesta
<http://www.luja.fi/app/uploads/sites/2/2016/10/Pienpaaluohje.pdf>

Lujabetoni Oy (n.d. a) Teräsputkipaalu (kuvassa vasemmalla) tunkeutuu syvemmälle kuin Luja-pienpaalu (kuvassa oikealla), jolloin sen menekki on suurempi työmaalla. Haettu 9.2.2017 osoitteesta
<http://www.lujapienpaalutus.fi/>

Lujabetoni Oy (n.d. b) Kuin kalliolle rakentaisit. Luja-pienpaalutus. Haettu 21.01.2016 osoitteesta www.lujapienpaalutus.fi

Rakennusteollisuus RT ry (2016). Taulukko 1. Betoniteollisuuden menekki-indeksi vuosina 2005–2016. Haettu 22.2.2017 osoitteesta
<http://betoni.com/tietoa-betonista/suhdanteet-tilastot/menekki-indeksi/>

Rautaruukki Oy (n.d.). RR-paalutusohje. Suunnittelu- ja asennusohjeet lyötäville RR-paaluille. Haettu 04.05.2016 osoitteesta
<http://docplayer.fi/16349546-Rr-paalutusohje-suunnittelu-ja-asennusohjeet-lyotaville-rr-paaluille.html>

RIL 254-1-2011. Paalutusohje 2011. Osa 1: suunnittelun perusteet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RIL 254-2-2011. Paalutusohje 2011. Osa 2: paalutusohje. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RIL 223-2005. Lyöntipaalutusohje 2005: teräsbetoni ja puupaalut. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

SFS-EN 1990 (2007). Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Soil Investigation Pte LTD. (n.d). Kuvassa paaluun kiinnitettävät PDA-anturit. Haettu 9.2.2017 osoitteesta

<http://www.soilinvestigation.com.sg/services-pileinstrumentation.html>

Haastattelut:

Sundberg P. 2017. Toimitusjohtaja. Neliyhtymä Oy. Sähköpostihaastattelu 15.2.2017.

Kontiainen J. 2017. Työpäällikkö. Maanrakennus Jari Knuutila Oy. Sähköpostihaastattelu 15.2.2017.

Komulainen J. 2017. Työnjohtaja. Sisco Oy. Sähköpostihaastattelu 7.2.2017.

Haastattelukysymykset Neliyhtymä Oy:lle Luja-pienpaalun (teräsbetonipaalu) ja teräsputkipaalujen menekkieroista ja menekkieroista syntyvistä kustannuseroista

Nimi: Petri Sundberg
Asema yrityksessä: toimitusjohtaja

Kumpi on mielestäsi nopeampaa paaluttaa, Luja-pienpaalu vai teräsputkipaalu (koot 90 mm - 163 mm)?

Riippuu pohjasta.

Kuinka paljon arvioisit Luja-pienpaalun paalutuksen olevan nopeampaa kuin teräsputkipaalutuksen (m/pv)?

Luja-pienpaalu on nopeampaa, koska kantavuus saavutetaan pienemmällä lyöntimetreillä.

Kuinka paljon arvioisit teräsputkipaalutuksen olevan nopeampaa kuin Luja-pienpaalutuksen (m/pv)?

100 m/pv.

Mitkä ovat mielestäsi paalutettaessa Luja-pienpaalua hyvät puolet verrattuna teräsputkipaaluihin (90 mm - 163 mm)?

Kantavuuksien saavuttaminen nopeammin.

Mitkä ovat mielestäsi paalutettaessa teräsputkipaalua (90 mm - 163 mm) hyvät puolet verrattuna Luja-pienpaaluun?

Jatkoksen teko nopeampi ja katkaistujen palojen käyttö myöhemmin.

Kumpaan on mielestäsi nopeampi ja helpompi tehdä jatkos, Luja-pienpaaluun vai teräsputkipaaluun?

Teräsputkipaalu.

Vaikuttaako jatkoksen teon nopeus mielestäsi kustannuksiin ja onko jommankumman jatkoksen teko halvempaa materiaalien osalta, kumpi?

Teräsputkijatkoksen asentaminen nopeampi ja siten kustannustehokkaampi.

Kumpi on mielestäsi kustannustehokkaampaa paaluttaa, teräsbetonipaalu vai teräsputkipaalu?

Tähän ei voi antaa yksiselitteistä vastausta. Asia riippuu tapauskohtaisesti pohjan koostumuksesta.

Miksi teräsputkipaalu/teräsbetonipaalu on kustannustehokkaampaa paaluttaa?

Kummassakaan ei jää hukkapaloja.

Minkälaisiin kohteisiin ja miksi tarjoat Luja-pienpaalua/(teräsputkipaalua) korvaavaksi tuotteeksi, jos se ei ole suunnitelmissa?

Pohjatutkimuksen perusteella, jos paalu saavuttaa kantavuuden kovassa moreenikerroksessa, valinta on Luja-pienpaalu.

Miten asiakas (tilaaja, rakennuttaja tai rakentaja) suhtautuu eri paalutusratkaisuihin, onko heillä ennakkoluuloja jotain paalutusratkaisua kohtaan?

Luja-pienpaalussa ennakkoluulona paalun rakenteen kestävyys paalutuksen aikana.

Kuka mielestäsi tekee päätöksen paalutyypistä: asiakas, suunnittelija, rakennuttaja, rakentaja?

Jos mielestäni suunnittelijan suunnittelema paalutyyppi ei ole kaikkein optimaalisin vaihtoehto, suosittelen yleensä kohteeseen paremmin sopivaa ratkaisua.

Paalun tunkeutuminen Luja-pienpaalu/teräsputkipaalu, näkyykö metrimäärissä?

Teräsputkipaalua menee enemmän.

Haastattelukysymykset Maanrakennus Jari Knuutila Oy:lle Luja-pienpaalun (teräsbeetonipaalu) ja teräsputkipaalujen menekkieroista ja menekkieroista syntyvistä kustannuseroista

Nimi: Jaakko Kontiainen

Asema yrityksessä: työpäällikkö/tarjouslaskija

Kumpi on mielestäsi nopeampaa paaluttaa, Luja-pienpaalu vai teräsputkipaalu (koot 90 mm - 163 mm)?

Luja-pienpaalu ja pienemmät teräsputkipaalut (90–115) ovat yhtä nopeita paaluttaa. Suuremmat teräspaalut ovat jonkun verran hitaampia paaluttaa kun huomioidaan katkaisu. Halkaisijaltaan 140 ja suuremmat paalut on katkaistava polttoleikkaamalla, joka on hitaampi ja hintavampi kuin Luja-pienpaalukatkaus paalusahalla. Lisäksi polttoleikatusten paalujen jatkokäyttö vaikeampaa.

Kuinka paljon arvioisit Luja-pienpaalun paalutuksen olevan nopeampaa kuin teräsputkipaalutuksen (m/pv)?

Erot on aika pienet. Luja-pienpaalua voisi työpäivässä lyödä 18 m enemmän kuin esim. halkaisijaltaan 140 teräspaalua.

Kuinka paljon arvioisit teräsputkipaalutuksen olevan nopeampaa kuin Luja-pienpaalutuksen (m/pv)?

Karkeasti voisi arvioida että 90 mm:n teräspaalu voisi olla hieman nopeampaa paaluttaa kuin Lujan pienpaalu – arvio 12 m/tv. Teräspaalu 115 ja Lujan pienpaalua lyötäisiin sama määrä työpäivässä ja suurempia teräspaaluja 18 metriä vähemmän.

Mitkä ovat mielestäsi paalutettaessa Luja-pienpaalua hyvät puolet verrattuna teräsputkipaaluihin (90 mm - 163 mm)?

Luottamus betonipaalun kestävyYTEEN on suurempi ja se on lyötäessä helpompi, kun ei väänny niin helposti kuin etenkin pienemmät teräspaalut. Luja-pienpaaluperustus on tukevampi verrattuna teräspaaluperustukseen – tämä huomattavaa etenkin kohteissa, joissa paalut tunkeutuu syvälle. Lujan pienpaalu ei vaadi erillisiä paalukärkiä ja -hattuja.

Mitkä ovat mielestäsi paalutettaessa teräsputkipaalun (90 mm - 163 mm) hyvät puolet verrattuna Luja-pienpaaluun?

Paalujätteet on jotenkin hävitettävä – teräsputkipalat on helppo laittaa kierrätykseen – betonipaalujämät on vietävä betonijätteen vastaanottajalle tai pulveroitava työmaalla. Näistä jatkettavista paaluista jää tosin hukkapaloja vain vähän.

Kumpaan on mielestäsi nopeampi ja helpompi tehdä jatkos, Luja-pienpaaluun vai teräsputkipaaluun?

Teräsputkipaaluja jatkos on vähän nopeampi tehdä. Mutta polttoleikattuja teräsputkipaalujen päitä joudutaan tasoittamaan, joka vaikeuttaa esim. paalukärjen asentamista.

Liite 2/2

Vaikuttaako jatkoksen teon nopeus mielestäsi kustannuksiin ja onko jomman-kumman jatkoksen teko halvempaa materiaalien osalta, kumpi?

Näissä paaluissa jatkokset sisältyy paalun hintaan. Jos käytetään 12-metrisiä teräspaaluja, niin jatkoksen hinta on silloin teräspaalulla pienempi. Toisaalta pitkien teräspaalujen vääntyminen paalutuksen alkuvaiheessa on vaarana. 12-metrisiä teräspaaluja me käytämme vasta, kun paalun halkaisija on 140 tai suurempi. Teräspaaluissa kärjet ja hatut nostaa hintaa.

Kumpi on mielestäsi kustannustehokkaampaa paaluttaa, teräsbetonipaalu vai teräsputkipaalu?

Lujan pienpaalu on mielestäni kustannustehokkaampi. Ero pieniin teräspaaluihin vähäinen, toisaalta lyhyissä paalupisteissä teräspaalun paaluhatun ja paalukärjen osuus lisää eroa pienpaalun verrattaessa.

Miksi teräsputkipaalu/teräsbetonipaalu on kustannustehokkaampaa paaluttaa?

Teräsbetonipaalu: ei paaluhattuja, ei kärkiä, hukka vähäisempää.

Minkälaisiin kohteisiin ja miksi tarjoat Luja-pienpaalua/(teräsputkipaalua) korvaavaksi tuotteeksi, jos se ei ole suunnitelmissa?

Kohteet, joissa paalut tunkeutuu syvälle.

Miten asiakas (tilaaja, rakennuttaja tai rakentaja) suhtautuu eri paalutusratkaisuihin, onko heillä ennakkoluuloja jotain paalutusratkaisua kohtaan?

Omakotitalojen perustuksien suunnittelijat suosivat teräspaaluja – Lujan pienpaaluista heillä ei ole ilmeisesti kokemuksia. Myös on käsitys, että betonipaalutus aiheuttaa enemmän tärinöitä ympäristöön.

Kuka mielestäsi tekee päätöksen paalutyypistä: asiakas, suunnittelija, rakennuttaja, rakentaja?

Viime kädessä rakennesuunnittelija määrää paalutyypin. Asiakas voi vaikuttaa rakennesuunnittelijan ratkaisuun.

Paalun tunkeutuminen Luja-pienpaalu/teräsputkipaalu, näkyykö metrimäärissä?

Oletettavasti Lujan pienpaalu tunkeutuu maahan arviolta 5–8 % vähemmän.

Haastattelu Sisco Oy:lle paalutuksesta rivitalokohteessa Klaukkala Pikimetsäntie

Nimi: Jari Komulainen

Asema yrityksessä: työnjohtaja

1. Mikä oli pohjatutkimusten lopputulos työmaalla?

Pohjatutkimuksen mukaan keskimäärin n. 20 metrin syvyydessä alkava moreenikerros, sitä ennen löyhää savea.

2. Mihin perustamisratkaisuun suunnittelija oli kohteessa päätenyt?

Kohteeseen oli suunniteltu paaluperustus kaikkiin asuinrakennuksiin.

3. Minkä kokoista teräsputkipaalua oli aluksi suunniteltu käytettävän työmaalla?

Kohde oli suunniteltu Luja-pienpaaluille alunperinkin.

4. Miksi päädyitte valitsemaan Luja-pienpaalun teräsputkipaalun sijaan?

Kohteissamme on käytetty Luja-pienpaaluja yhtäjaksoisesti vuodesta 2014. Tuotteen ominaisuudet sopivat kohteisiimme, joissa paalutusta tarvitaan. Kantavuus on riittävä puurunkoisille rakennuksille ja paalun suhteellisen suuri kärkivastus takaa sen, että paalumetreissä saavutetaan säästöä kilpailijoihin verrattuna.

5. Jos valitsitte hinnan vuoksi Luja-pienpaalun, oliko se halvempi vaihtoehto verrattuna teräsputkipaaluihin?

Kokonaisuutena Luja-pienpaalutus on ollut vertailtaessa tähän asti halvin vaihtoehto.

6. Mikä teki Luja-pienpaalutuksesta edullisemman vaihtoehdon (materiaalit, nopeus, logistiikka, paalutuskalusto, paalutuspituus)?

Paalutuskalusto on järkevän kokoista/painoista, jolloin kohtuuttomia paalutuspetejä ei tarvita. Luja-pienpaalut saavuttavat kantavuutensa nopeammin kuin teräsputkipaalut (kärkivastuksensa ansiosta), joten paalumetreissä tulee myös useimmiten säästöä. Paaluttaminen on hieman hitaampaa kuin teräsputkipaaluilla, mutta seuraaviin työvaiheisiin nopeus riittää hyvin.

7. Mitkä ovat omat kokemuksenne Luja-pienpaalun ja teräsputkipaalun hinnasta? Onko niiden metrihinnassa suuria eroja?

Metrihinnat vaihtelevat kohteittain, joten tähän ei voi aukottomasti vastata. Hinnanmuutos tulee lähinnä kohteen koon ja paalutuspituuden mukaisesti, luonnollisesti myös sijainti vaikuttaa.

8. Korreloiko toteutunut paalupituus hyvin a) suunnittelijan, b) maaperätutkimuksen, c) paaluttajan arvioiden kanssa?

Maaperätutkimukseen verrattuna paalupituudet jäivät kohteessa huomattavasti lyhyemmiksi, myös paaluttajan arvio alittui jonkin verran.