

Esa Marjamäki

MAAPERÄTUTKIMUSTEN MERKITYS  
TERÄSPUTKIPAALUTUKSESSA

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma  
2017

# MAAPERÄTUTKIMUSTEN MERKITYS TERÄSPUTKIPAALUTUKSESSA

Marjamäki, Esa  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma  
huhtikuu 2017  
Ohjaaja: Kujala, Mari  
Sivumäärä: 34  
Liitteitä: 7

Asiasanat: Maalajit, maaperätutkimus, teräsputkipaalutus

---

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin ennalta tehtyjen maaperätutkimusten oikeellisuuteen todellisen rakennuskohteen avulla. Lisäksi verrattiin työvaiheesta tehtyä tarjouslaskelmaa toteutuneisiin kuluihin, kun 20 betonianturaperustusta muutettiin teräsputkipaaluperusteiseksi. Rakennettava kohde oli 300 metriä pitkä teräsputkipaaluperusteinen meluseinä.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa esiteltiin Suomessa yleisimmin esiintyvät maalajit sekä niiden määritelmät. Myös Suomen yleisimmät maaperätutkimusmenetelmät sekä niiden käyttömahdollisuudet ja työselitykset käytiin läpi. Opinnäytetyön teoriaosuuteen tutustuttiin kirjallisuuden ja asiantuntijoiden haastattelujen avulla. Paalutus-työstä tehtiin paalutuspyytäkirja, josta ilmenee paalujen pituudet. Yksi keskeisimmistä asioista oli toteutuneiden paalujen pituuden vertailu suunniteltuihin pituuksiin.

Säästöjä syntyi halutusti ja maaperätutkimuksien oikeellisuudesta saatiin todellinen laskentaesimerkki. Koska maaperätutkimukset olivat osittain virheellisiä, selvitettiin syitä virheisiin ja mahdollisia kustannustehokkaita tapoja estää vastaavankaltaisia virheitä jatkossa. Tulokseksi paljastui mittauspaikkojen virheellinen sijainti sekä näytteiden vähäinen määrä. Lisäksi olisi voitu käyttää toistakin tutkimusmenetelmää painokairauksen rinnalla tulosten oikeellisuuden varmistamiseksi. Tähän samaan tulokseen tuli myös opinnäytetyötä varten haastateltu asiantuntija.

## IMPORTANCE OF SOIL TESTING IN STEEL PIPE PILING

Marjamäki, Esa

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in construction and municipal engineering

April 2017

Supervisor: Kujala, Mari

Number of pages: 34

Appendices: 7

Keywords: soil type, soil testing, steel pipe piling

---

In this thesis validity of beforehand made soil type testing was examined through real construction project. In addition offer calculation of this work phase was compared to real expenses when twenty (20) concrete foundations were changed to steel pipe pile foundations. The building project was a 300-meter long noise protection wall with steel pipe pile foundations.

In theory part of this thesis the most common soil types in Finland are presented as well as how they can be defined. Also most commonly used soil testing methods in Finland, their work description and how they can be used are described. Theory of this thesis consists of literature and interviews of experts in this field. Pile driving minutes was made where the length of the piles can be found. One of the most essential points in this thesis was the comparison between the actual pile lengths to the original ground plan.

Savings were made compared to the original plan and real life example of the validity of soil type testing was made. Because the soil type testing was partly incorrect, reasons for that were examined and possible cost-effective ways to prevent that in the future were investigated. The end result was that the testing locations were incorrect and there where not enough samples taken. In addition another research method could have been used besides weight sounding to ensure the correct results. The specialist interviewed for this thesis was in agreement with this.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	MAALAJIT SUOMESSA.....	7
2.1	Maalajien raekoot.....	7
2.2	Savi ja siltti.....	9
2.3	Eloperäiset maalajit.....	10
3	MAAPERÄTUTKIMUKSET.....	11
3.1	Siipikairaus.....	14
3.2	Painokairaus.....	15
3.3	Puristinheijarikairaus.....	16
3.4	CPTU-kairaus.....	19
4	OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET.....	20
4.1	Henkilöhaastattelu.....	20
5	MELUSEINÄN TERÄSPUTKIPAALUTUKSEN TAUSTATIETOA.....	22
5.1	Maaperätutkimukset kohteesta.....	22
5.2	Paalujen pituudet tutkimusten perusteella ja todellisuudessa.....	23
5.3	Vertailu tutkimuksen ja lopputuloksen välillä.....	24
5.4	Työn kulku.....	24
6	TULOKSET.....	29
7	YHTEENVETO.....	31
	LÄHTEET.....	33
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Kaupungit ja niiden taajama-alueet levittäytyvät jatkuvasti yhä kauemmas keskus- toista, eikä optimaalista hyvin kantavaa maaperää rakentamiselle ole enää kaikissa paikoissa rakentamattomana. Näissä kohteissa tarvitaan entistä useammin paalutusta. Paalutuksen tarve selvitetään maaperätutkimusten avulla.

Rakennus-alalla on tehty maaperätutkimuksia jo pitkään. Maaperätutkimukset ovatkin olennainen osa rakennushankkeen aloittamista. Niiden perusteella tehdään perustamistapalausunto, joka määrittelee hankkeen perustamistavan. Maaperätutkimukset eivät kuitenkaan ole aina täysin luotettavia. Tässä opinnäytetyössä vertailen maaperätutkimusten paikkaansa pitävyyttä todellisen esimerkkikohteen avulla. Sekä mistä mahdolliset virheet johtuvat.

Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Destia Oy:n ja Satakunnan ammattikorkeakoulun kanssa. Siinä kerrotaan yleisellä tasolla maalajeista ja erilaisista maaperätutkimusmenetelmistä. Toimin työn aikana Destialla työnjohtoharjoittelijana ja minulle annettiin erääksi työtehtäväksi rakennuttaa suunnitelmien mukainen teräsputkipaaluperusteinen meluseinä.

Teräsputkipaalutus on koko ajan yleistymässä rakennustyömailla, sillä se ei vaadi niin järeitä paalutuskoneita kuin järeät teräsbetonipaalut. Teräsputkipaalujen etuna betonisiin verrattuna voidaan pitää pienempää maaperän häirintää, ne syrjäyttävät myös vähemmän maata tieltään, niitä voidaan asentaa ahtaissa ja matalissa tiloissa painoltaan kevyellä kalustolla. Teräsputkipaalu ei katkea tai murru kuten betonipaalu ja sillä on myös suurempi puristuskestävyys.

Vertailemalla maaperätutkimuksia ja lopullista tulosta voidaan todentaa maaperätutkimusten oikeellisuus. Nykyisessä työssäni huomaan viikoittain, ettei maaperätutkimuksia ole tehty riittävästi. Näytteiden vähäisyys voi johtua kairausnäytteenoton kestosta, joka voi olla syvässä maassa useita tunteja. Jotta ne olisivat riittävän tarkkoja ja auttaisivat urakoitsijaa jo laskentavaiheessa, niitä tulisi tehdä huomattavasti enemmän.

Tarkemmalla suunnittelulla saadaan aikaan myös kustannusten säästöjä. Tässä opin-  
näytetyössä lasken todellisen esimerkin kautta, saatiinko tässä kohteessa säästöjä,  
kun perustustapasuunnitelmasta poiketen muutimme 20 anturaperustusta teräsputki-  
paaluperusteiseksi. Pohdin myös mahdollisia syitä, mikäli maaperätutkimukset ovat  
virheellisiä tai puutteellisia. Lisäksi kerron maanrakennusalan yleisimpiä ongelmia,  
joita on tullut esille hankkeiden aikana huonoista maaperätutkimuksista johtuen.

### Opinnäytetyön sanasto

Teräsputkipaalu on halkaisijaltaan 75-1200 mm oleva teräksestä valmistettu ontto  
putki, joka lyödään tai porataan maaperään. Putken alapäähän voidaan asentaa erilai-  
sia kärkiä, riippuen alla olevasta kovasta maakerroksesta. Putket ovat jatkettavia.  
(SSAB:n [www-sivut 2015](#))

Teräsbetonipaalut ovat yleensä kooltaan 250x250 mm, 300x300 mm tai 350x350 mm  
paksuisia kaksitoista metriä pitkiä jatkettavia paaluja. Myös teräsbetonipaaluihin on  
saatavana erilaisia maa ja kalliokärkiä, joihin paalu tukeutuu. ([htm-yhtiöt www-sivut  
2014](#))

Sora-arina tarkoittaa kantavan maaperän päälle tuleva sorakerrosta, jonka paksuuden  
geosuunnittelija määrittelee aina hankekohtaisesti. Sora-arina erotetaan alla olevasta  
maasta usein suodatinkankaalla, etteivät maa-ainekset sekoitu keskenään. (Liikenne-  
viraston [www-sivut 2006](#))

Pilaristabiloinnissa maaperään kairattuun reikään lisätään kalkki- ja sementtipohjais-  
ta sideainetta ruiskuttaen, samalla kun kairaa nostetaan reiästä ylös. Kairattu kohta  
lujittuu sideaineen reagoidessa maan kosteuden kanssa. Tällöin maaperään muodos-  
tuu sylinterimäisiä pilareita. ([finnsementin www-sivut 2009](#))

Häiriintymättömällä kairausnäytteellä tarkoitetaan koskemattomaan maaperään teh-  
tävää kairauskoetta. Häirityssä kairausnäytteessä koe toistetaan samasta, jo kerran  
kairatusta kairauspisteestä. Jolloin maaperää on jo häiritty ensimmäisellä kairauksel-  
la. (Rauman Geotiimin vastaavan asiantuntijan Matti Välimaan haastattelu 2017)

## 2 MAALAJIT SUOMESSA

Suomen yleisin maalaji on moreeni, sitä on lähes viisikymmentä prosenttia maasta. Moreeni on sekoitus kaikkia maalajitteita, lohkareista saveen. Moreenia on yleensä heti kallion päällä. Tunnusomaista moreenille on kivien kulmikkuus. Moreenimaat ovat kivisiä maita, joissa yleensä kasvaa metsää. Moreeni on kivennäismaalaji eli siinä on vähemmän kuin 20 prosenttia eloperäistä ainesta. (geologian www-sivut 2007, rakentajan www-sivut 2012)

Moreenit ovat hienoainespitoisuutensa vuoksi routivia ja huonosti vettä läpäiseviä. Jäätikön alle jäänyt pohjamoreeni on erittäin lujaa, koska raekoostumuksensa vuoksi se on pakkautunut todella tiiviiksi. Moreenissa tulee olla samanaikaisesti 5% sekä silttiä että sora. (Jääskeläinen 2009, 24).

Maalajeilla ja maaperällä on suuri vaikutus perustustapaa arvioitaessa. Sen lisäksi että maan tulisi kantaa, sen tulisi myös olla routimaton ja sen kapillaarisuus tulisi olla riittävä. Routimattomia kivennäismaalajeja ovat hiekka, sora, murske, kivet ja louhe, mikäli niiden hienoainespitoisuus jää alle kymmenen prosentin ja suurin raekoko on 200 mm. Hienorakeisemmat maalajit vaativat aina joko paalutuksen tai jos kantavuus sallii niin sora-arinan. (trimillin www-sivut 1994)

### 2.1 Maalajien raekoot

Maalajit jaotellaan raekoon mukaan. Jokainen maalaji on kategorioitu tiettyyn kokoluokkaan rakeiden läpimitan perusteella. Nämä luokat on esitetty kuvassa 1. Hienorakeiset maalajit ovat läpimitaltaan alle 0,06 mm. Tätä suuremmat kuuluvat karkearakeisiin maalajeihin. (GTK:n www-sivut 1982)

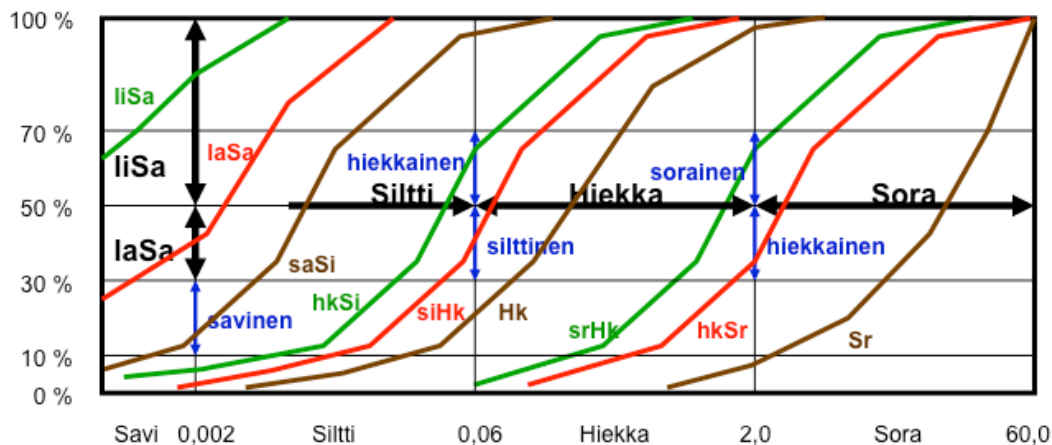
Rakeiden läpimitta mm	Maalaji
>600	lohkareet
600-200	isot kivet
200-60	pienet kivet
60-20	
20-6	sora
6-2	
2-0,6	
0,6-0,2	hiekkä
0,2-0,06	
0,06-0,02	
0,02-0,006	siltti
0,006-0,002	
<0,002	savi

Kuva 1. Maalajit GEO-luokituksen mukaan (GTK:n www-sivut 1982)

Maalajin nimi määräytyy sen päälajitteen mukaan (kuva 2), jonka alueella maalajin rakeisuuskäyrän läpäisyprosenttia 50 vastaava raekoko sijaitsee, tätä menetelmää kutsutaan d50-menetelmäksi. Savet jaotellaan savilajitteen määrän perusteella. Saveksi sanotaan maalajia, joka sisältää savilajitetta vähintään 30 painoprosenttia. Vä-  
lillä 10-30 % se saa lisänimen savinen. (Geologian www-sivut 2007)

Maalajit voivat myös olla sekalajitteisia, kuten moreenit, jolloin ne sisältävät toisiinsa sekoittuneena useita eri lajitteita. GEO-luokituksessa ne on jaettu kolmeen ryhmään sora, hiekkä- ja silttimoreeneihin. Soramoreeni määritetään d50-menetelmän mukaan, mutta siinä saa olla lisäksi enintään 5 painoprosenttia hienorakeista ainesta. Hiekkamoreeni rajautuu sora- ja silttimoreeniin. Silttimoreenissa tulee olla yli 30 painoprosenttia hienorakeista (0,06 mm) ainesta ja lisäksi vähintään 5% tai enemmän läpimitaltaan alle 0,002 mm:n ainesta eli savilajitetta. (GTK:n www-sivut 1982)





Kuva 2. Maalajien rakeisuuskäyriä. (Samk:in opetusmateriaali Pohjarakennus ja geotekniikka, luentokalvot 3. 2015)

liSa= lihava savi; laSa =laiha savi; saSi =savinen siltti; hkSi =hiekkainen siltti; Hk =hiekkä; srHk =sorainen hiekka; hkSr = hiekkainen sora; Sr = sor

## 2.2 Savi ja siltti

Saveksi kutsutaan lajitetta, jonka rakeiden koko on alle 0,002 mm. Savi syntyy kun tyynessä vedessä olevat hiukkaset laskeutuvat pohjaan. Laskeutumisen jälkeen hiukkaskasauma jää sen päälle saostuvien aineiden puristukseen. Jos puristus ylittää kiviainesrunгон lujisuuden, se konsolidoituu tilaan, jossa se juuri ja juuri kestää päälle tulevan painon. Näin syntyy rakenne, jossa savella on aina jokin leikkauslujuus eli koheesio. Savi on kiven ja veden seos. (Jääskeläinen 2009, 21)

Savikappaleen puristaminen leikkauslujuuden lisäämiseksi ei onnistu, sillä kiviainesrunko pettää puristuksen alta. Välissä oleva vesi estää kivirakeiden toisiaan vastaan puristumisen ja kitkan lisääntymisen. Vain vesipaine nousee. Tämä ilmiö yhdessä voimakkaan painumisen kanssa ovat tärkeimpiä perusteita, miksi savi tulee rajata omaksi lajitteekseen. Savi on käytännössä vettä läpäisemätön ja routiva. (Jääskeläinen 2009, 22)

Siltti on raekooltaan 0,002 – 0,06 mm kokoinen lajite, jonka alueella raemuoto muuttuu levyistä vakioläpimittäisiin rakeisiin. Lujusominaisuuksiltaan siltti asettuu saven ja hiekan väliin. Siltissäkin esiintyy kitkaominaisuuksia kuten karkeammassa maalajitteissa, mutta myös tartuntavoimien aiheuttamaa koheesiota kuten savessa.

Siltti on erittäin routivaa, kun taas raekooltaan suurempi puhdas hiekka on routimattomaa. Siltin vanhat nimitykset hiesu ja hieta ovat edelleen suomalaisten käytössä, vaikka siltti nimen käyttö on aloitettu muutamia kymmeniä vuosia sitten. Lähinnä kansainvälisten luokitusten ja asioiden vuoksi. Siltissä ja savessa veden kapillaarinen nousu voi olla yli metrin, tämän vuoksi näitä lajitteita ei voi käyttää kantavissa pohjarakenteissa. (Jääskeläinen 2009, 22)

### 2.3 Eloperäiset maalajit

Suomi on maailman soisin maa, jos sitä mitataan pinta-alasuhteella. Suomen pinta-alasta noin 31 % on suota. Uutta turvetta kasvaa noin 1mm/v, joten se ei ole nopeasti uusiutuva luonnonvara. Turvetta ei voida käyttää perustuspohjana sen jatkuvan puristumisen takia. Myös lieju on kelpaamaton perustuspohja sen suuren kuivumiskutisman vuoksi. (Jääskeläinen 2009, 27).

Maalajien raekoon lisäksi eloperäisen aineksen osuus eli humuspitoisuus vaikuttaa maan kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. Humuspitoisuuden perusteella jaotellaan hienorakeisia maalajeja. Humuspitoisuus määritetään painoprosentin mukaan. Jos painoprosentti on 2-6 on kyseessä GEO-luokituksen perusteella liejuinen siltti tai liejuinen savi. Kun taas prosentin ollessa välillä 6-20 on kyseessä silttinen lieju tai savinen lieju. Yli kahdenkymmenen painoprosentin humuspitoisuus luokittelee maalajin liejuksi. (GTK:n www-sivut 1982)

### 3 MAAPERÄTUTKIMUKSET

Maaperätutkimusten tavoitteena on selvittää maan ja kallion rakennetta ja muotoa sekä ominaisuuksia. Tutkimuksista selvitettäviä asioita ovat maanpinnan korkeus, maaperän kerrospaksuudet ja sijainnit. Lisäksi tutkitaan maaperän lujuutta ja koonpuristuvuutta sekä vedenläpäisevyyttä ja routivuutta. Erityisen tärkeitä tietoja ovat pehmeikköjen sijainnit ja taso jolta kallio tai muu kantava maa, esimerkiksi moreeni alkaa. Kaikki edellä mainitut tutkimukset saadaan tehtyä monikäyttöisellä poravaunulla (kuva 3). Myös pohjaveden sijainti tulee saada selville. (liikenneviraston www-sivut 1998)

Varsinkin rannikkoalueilla Suomessa esiintyy savea. Saven leikkauslujuutta arvioidaan siipikairanäytteillä. Savi voidaan jättää mahdollisesti rakennettavan kohteen alle, mikäli se kestää yläpuolisen kuormituksen. Joissain tapauksissa kun savimaa ei kestä, vaaditaan kohteeseen esimerkiksi massanvaihto eli kaivetaan kantamaton savimaa pois ja korvataan louheella tai murskeella. Savimaahan voidaan myös tehdä pilaristabilointi, jossa maaperään kairattuun reikään lisätään kalkki- ja sementtipohjaista sideainetta samalla kun kaira nousee reiästä ylös. (finnsementin www-sivut 2009)

Koska maa nousee Suomessa joka vuosi (3-9 mm), kallioiden muodostaneet rantaviivan ovat nyt maan alla. Tyypillisesti rannikolla savimaa on heti kallion päällä, koska pohjavesi liikkuu kallioon saakka alaspäin, mutta kallioon osuessaan kallion muoto määrää veden liikkumissuunnan. Keskimääräinen maakerros kallion päällä Suomessa on seitsemän metriä. (Fgi:n www-sivut 2012)

Maaperätutkimuksesta riippuen, sillä saadaan selville maan häiriintymätön ja häiriintynyt leikkauslujuus. Se kertoo kuinka paljon maa kantaa laskennallisesti. Tutkimuksilla saadaan myös selville maan eri kerrokset eri syvyyksissä (kuva 5). Kaikille kerroksille on olemassa omat lyhenteet ja tunnukset (kuva 4). Kairauksen yhteydessä otetaan maanäytteitä eri korkeuksilta ja ne lähetetään laboratorioon analysoitaviksi. Näytteillä todennetaan maalajien sijainti eri syvyyksissä. (Rauman Geotiimin vastavaan asiantuntijan Matti Välimaan haastattelu 2017)



Kuva 3. Kairausvaunu KN1000 Jp special, jolla kairaukset ja maaperätutkimukset tehdään

Maalajiryhmä Soil group	Maalajit Soil types	Värit Colours
Eioperäiset maalajit (E) Organic soils	Humusmaa Organic soil	Hm
	Turve Peat	Tv harmaa grey RGB 192 192 192
	Lieju Mud, ooze	Lj tumman harmaa dark grey RGB 146 146 174
Hiom rakeiset maalajit (F) Friegrained soils	Savi Clay	Sa sininen blue RGB 146 210 254
	Siltti Silt	Si violetti violet RGB 211 3 255
Karskearakeiset maalajit (K) Coarse grained soils	Hiekka Sand	Hk keltainen yellow RGB 240 234 82
	Sora Gravel	Sr vihreä green RGB 113 219 113
Moreeni maalajit (M) Moraines	Silttimoreeni Silty till	SiMr ruskea brown
	Hiekkamoreeni Sandy till	HkMr
	Soramoreeni Gravelly till	SrMr RGB 218 173 48
	Kiviä Cobbles	Ki
	Lohkareita Boulders	Lo
	Kivi tai lohkar Stone or boulder	läpiporattu*) hole drilled through*)

KAIRAUSTEN PÄÄTTYMINEN Termination of soundings or borings	
	Kairaus lopelettu määräsyvyteen Sounding terminated at the given depth
	Kairaus päättynyt tiiviiseen maakerrokseen Sounding terminated at dense soil layer
	Kairaus päättynyt kiveen tai lohkareeseen Sounding terminated at an estimated cobble or boulder
	Kairaus päättynyt kiilautumalla kivien tai lohkareiden väliin Sounding terminated with wedging between stones and boulders
	Kairaus päättynyt kiveen, lohkareeseen tai kallioon Sounding terminated at cobble, boulder or bedrock contact
	Kairaus päättynyt kallioon, varmistettu kallio Sounding terminated at bedrock contact, verified rock

\*) merkin korkeus osoittaa lohkarren koon  
\*) the size of the symbol corresponds to the size of the boulder

Kuva 4. Selitteet maalajiryhmille, maalajeille, väreille sekä kairauksen päättymisen merkinnät (Suomen geoteknillisen yhdistyksen www-sivut 2005)



Kuva 5. Maanäytteenottolaite, joka kierretään maahan kairausvaunulla ja kun maaines on putken sisällä, liittimet sulkeutuvat ettei näyte putoa putkesta pois.



Kuva 6. Kairauksen edetessä käytettäviä jatkotankoja. 25 mm paksu soveltuu paino ja siipikairaukseen. Paksumpi 32 mm paksu tanko kestää puristinheijarikairauksen lyönnitkin taipumatta.

### 3.1 Siipikairaus

Siipikairauksessa on yleensä suoritettava alkukairaus, ettei maan pinnalla oleva kova kerros vaikeuta kairan upotusta. Siipikairan teräkokoja on neljä, leveysiltään 45 -80 mm ja korkeudeltaan 90-160 mm. (Jääskeläinen 2009, 260.)

Siipikairauksella mitoitetaan maan suljettu leikkauslujuus hienojakoisilla maalajeilla (kuva 7). Yleensä otetaan näyte puolen metrin välein. Kun siipi on kiertynyt puoli metriä ja piirtänyt leikkauslujuutta määrittävän viivan diagrammiin se nostetaan ylös ja kairaus toistetaan eli otetaan näyte häiritystä maaperästä. Kairan yleisin pyörimisnopeus on 6 astetta minuutissa, puolen metrin kairaukseen menee aikaa 24-30 min. (Rauman Geotiimin vastaavan asiantuntijan Matti Välimaan haastattelu 2017)

Kun kairaustulos on saatu kaksi kertaa samalta syvyydeltä (häiriintymätön ja häiritty), jatketaan pyydetyn työtilauksen mukaan. Kairausta voidaan suorittaa useaan kymmeneen metriin saakka metrin tai kahden metrin pituisten jatkoputkien avulla (kuva 6). Siipikairaus päättyy usein niin, että siipeä pyöritetään 20 kierrosta ja mitataan häirityn maan leikkauslujuus. (Rauman Geotiimin vastaavan asiantuntijan Matti Välimaan haastattelu 2017)

Laitteiden kalibroinnilla on huomattava vaikutus lopputulokseen. Kalibrointi suositellaan tehtäväksi vuosittain. (liikenneviraston www-sivut 1998)



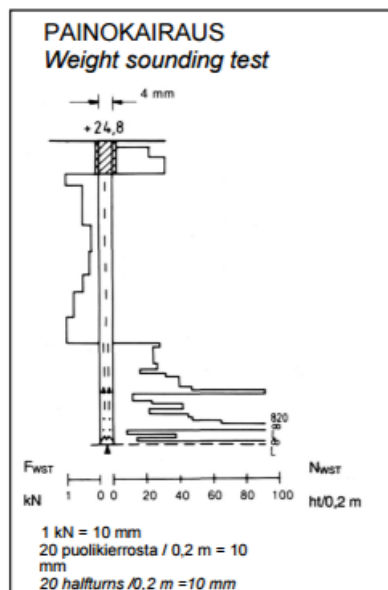
Kuva 7. Siipikaira ja siipikairauksen mittaustuloste (Suomen geoteknillisen yhdistyksen www-sivut 2005)

### 3.2 Painokairaus

Painokairaus on vanhin kairausmenetelmä, ensimmäiset kairaukset on tehty jo 1920-luvulla. Painokairaus kertoo maankerrosrajojen sijainnit ja antaa suurpiirteisen käsityksen maan lujuudesta ja tiiviyydestä (kuva 8). Ennen kuin painokairaus moottorisoitui, saatiin paljon arvokkaita tunto- ja äänihavaintoja käsikairauksella. (Suomen geoteknillisen yhdistyksen www-sivut 2005)

Painokaira on yleiskaira, joka antaa tiedon pehmeiköltä aina keskitiiviiseen moreeniin. Painokaira toimii hyvin Suomessa, jossa maaperän nopea vaihtelevuus on yleistä. Kairaus aloitetaan alkukairauksella, jolla poistetaan maan pinnalla oleva juurakko, asfaltti tai muu kairausta vääristävä materiaali. Ensin yritetään mitata, painuuko kaira pelkkien painojen avulla. Ajatuksella, että mitataan koko ajan sitä minimipainomäärää, jolla kaira painuu. Suurempaa painoa ei saa käyttää. Kuormitussarja on 5-15-25-50-75-100 kg. Jos painuma on yli 50 mm/s niin kokeillaan pienempää painoa. Kun kaira ei enää painu, sitä aletaan kiertää puolikierroksin, aina 20 cm välein merkataan ylös puolikierrosten määrä. Koneellisessa painokairauksessa pyöritysnopeuden tulee olla välillä 15-40 kierrosta minuutissa. (SFS-käsikirja 2009, 197). Mikäli kaira alkaa painua kesken kiertämisen, painot poistetaan ja kuormitus alkaa alusta. Kun kaira ei kiertämälläkään uppoa, painot poistetaan ja kairaa lyödään. Tämä vaatii sen että 20 cm matkaan on vaadittu yli 100 puolikierrosta. Kun kaira ei liiku lyömälläkään, kairaus on päättynyt. (Jääskeläinen 2009, 245).

Painokairatangot ovat halkaisijaltaan 25 mm. Tämä voi aiheuttaa sen että tankojen varsikitka lisää vastusta kairattaessa ja lujuus vaikuttaa todellista suuremmalta. Tulokset rekisteröidään usein 200 mm välein. Painokairausta käytetään useimmiten kun maan suljettu leikkauslujuus on alle 25 kPa, tämä tarkoittaa miltei aina savimaata. Mikäli kairataan pitkiä kairauksia kovemmassa maakerroksessa alkaa tarkkuus kärsiä. Painokairausta ei myöskään suositella sitkeissä ja kovissa savimaissa, tällöin menetelmänä käytetään puristinheijarikairausta tai CPTU-kairausta. (liikenneviraston www-sivut 1998)



Kuva 8. Painokairauksen mittaustuloste. Kuvaajan pylvään vasemmalla puolella esitetään millä painoilla kaira on edennyt ilman kiertämistä. Oikealla puolella kiertämiseen tarvittavat kierrokset ja lyönnit. (Suomen geoteknillisen yhdistyksen www-sivut 2005)

### 3.3 Puristinheijarikairaus

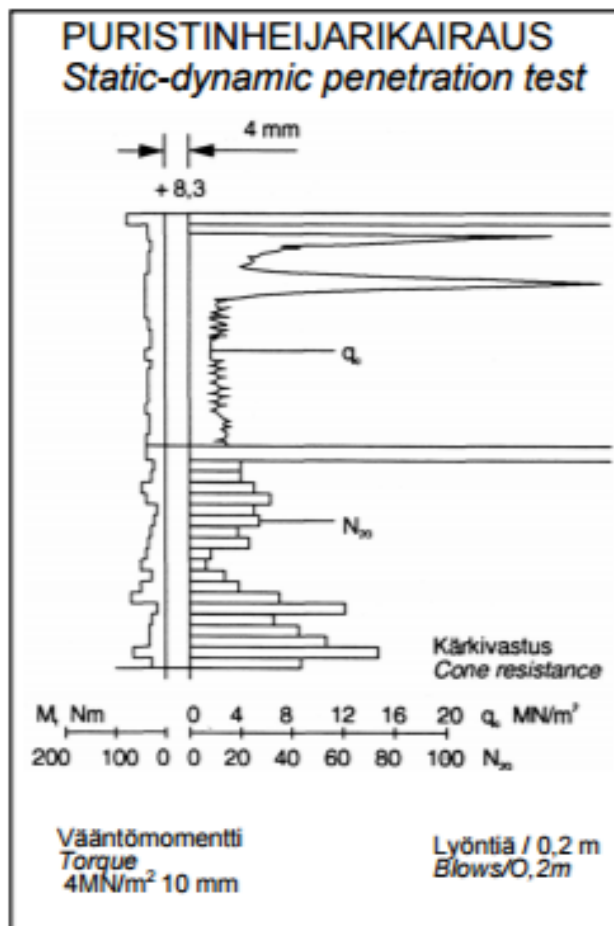
Puristinheijarikairaus on syrjäyttänyt nykyisin painokairauksen, sillä yhdellä kairauksella saadaan tieto pehmeistä kerroksista ja syvemmällä olevista kovista kerroksista kerralla (kuva 9). Menetelmä on kehitetty Suomessa. Se sopii parhaiten kerrosrajojen määrittämiseen ja erona painokairaukseen toimii myös kovissa ja sitkeissä savissa. (liikenneviraston www-sivut 1998).

Työn aikana 45 mm irtokärki (kuva 10) pyörii koko ajan, mikä antaa luotettavamman tuloksen painokairaukseen verrattuna. Puristinheijarikairaus aloitetaan puristinkairauksella, jossa tankojen pyöritysnopeuden tulisi olla 12 kierrosta minuutissa. Rekisteröintiin käytetään kairausvaunun automaattista rekisteröintilaitetta. Upotusnopeuden tulisi olla 20mm/s. Laite mittaa puristusvoiman 5 cm välein ja momentin 20 cm välein. Kun suurin puristusvoima on saavutettu, siirrytään heijarikairaukseen. (Rauman Geotiimin vastaavan asiantuntijan Matti Välimaan haastattelu 2017)

Heijarikairauksessa pudotetaan 63,5 kg painavaa punttia viidenkymmenen sentin korkeudelta, kairan koko ajan pyörien. (Jääskeläinen 2009, 265) Kun lyöntien määrä laskee alle viiteen 20 cm matkalla, palataan takaisin puristinkairaukseen. Tällöin tie-



detään tarkasti eri maakerrosten väliset rajat, eikä painoa pudoteta savikerrokseen. Koe päätetään aina heijarikairaukseen. Kairauksen päätyttyä halutulle syvyydelle jää kairausterän ontto suoja (kuva 11) maahan. (Rauman Geotiimin vastaavan asiantuntijan Matti Välimaan haastattelu 2017)



Kuva 9. Puristinheijarikairauksen mittaustulosteesta puristus vasemmalla ja heijari oikealla puolella (Suomen geoteknillisen yhdistyksen www-sivut 2005)



Kuva 10. Puristeheijarikairauksen terä. Samaa terää käytetään myös painokairauksessa



Kuva 11. Puristeheijarikairauksessa käytettävän terän ontto suoja, joka suojaa terää kun punttia pudotetaan muuhun kuin saviseen maaperään. Kairauksen päätyttyä suoja jää kairaussyvyteen.

### 3.4 CPTU-kairaus

CPTU-kairaus on puristinheijarikairaustakin tarkempi kairaus, jonka mittaaminen perustuu huokospainehavaintoihin, kärkikappaleeseen kohdistuvaan vastukseen ja kitkahylsyyn kohdistuvaan hankausvoimaan. Kairan kärkiosassa on lisäksi kärkivastusanturi, joka ei kuitenkaan kestä kairausta kivisessä maassa. Tutkimusta käytetään yleensä kun on selvitetty kivien alkamistaso puristinheijarikairauksella. Kairauksella saadaan tietoa myös maan konsolidaatiotilasta, joka tarkoittaa maaperän tiivistymistä ja lujittumista kuormituksen vaikutuksesta. (liikenneviraston www-sivut 1998)

Standardoitua kärkeä puristetaan vakionopeudella maahan ja mitataan tähän tarvittavia voimia. Ne kertovat maan ominaisuuksista. Ohuissa kerroksissa tulee tulkinnan kanssa vaikeuksia, koska kärkivastukseen vaikuttaa niin ylä- kuin alapuolinenkin maa. Tiivis kerros tulisi olla noin puolen metrin paksuinen, kun taas löyhän kerroksen paksuus voi olla 20-40 cm, hyvien mittaustulosten saamiseksi. Kairaus päättyy kun erikseen määritelty maksimivoima on saavutettu. (Jääskeläinen 2009, 261).

## 4 OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET

Opinnäytetyön tavoitteena on vertailla maaperätutkimusten oikeellisuutta lopputilanteeseen, kun paalut on lyöty maahan ja niiden pituus on selvillä. Paalutustyö tehtiin helmi-/maaliskuussa 2017. Paalutuspöytäkirjasta (liite 7) saadaan selville kunkin paalun pituus ja sijainti. Mietin myös mahdollisia toimenpiteitä, mikäli maaperätutkimuksissa selvitetty kantava maaperä onkin eri korkeudella kun pitäisi.

Tässä opinnäytetyössä perehdyin suunnitelmiin huolellisesti, johdin työmaalla meluseinän rakennustöitä alusta loppuun, tein paalutuspöytäkirjan, laskin materiaali-menekit sekä perustamistavan muutoksesta tulevat säästöt. Minulle annettiin teräspankkipaaluperusteisen meluseinän tarjouslaskentavaiheessa käytetyt tiedot, joita verrattiin toteutuneisiin kuluihin. Nämä molemmat laskelmat löytyvät liitteistä 5 ja 6. Lähteenä käytin suomalaista kirjallisuutta, asiantuntijoiden haastatteluja sekä internetistä löytyvää materiaalia.

### 4.1 Henkilöhaastattelu

Selvitin opinnäytetyössäni myös muilla Destian työmailla vastaan tulleita maaperätutkimuksista johtuvia ongelmia. Haastattelin Destian asiantuntijapalveluiden projekti- ja kehityspäällikkö Ville Suntiota ja hänen kokemusten perusteella suurin ongelma on maaperätutkimusten vähäinen määrä. Maaperätutkimuksista aiheutuvista kustannuksista on säästetty jo suunnitteluvaiheessa, jolloin yllätyksiä ja kuluja ilmenee rakennusvaiheessa. Toisaalta vähäiselläkin tutkimusmäärällä saatetaan arvata maan kerrosten oikea sijainti.

Pohjatutkimukset ohjelmoidaan suunnittelun alkuvaiheessa jolloin lopullista rakennetta ei ole vielä päätetty. Rakennesuunnitelmien edetessä tulisi tarkentavia lisätutkimuksia tehdä tarpeen vaatiessa. Kun tutkimukset jäävät tekemättä joudutaan rakennesuunnitelmat tekemään alkuvaiheen maaperätutkimuksilla, jotka eivät aina ole tarkoituksenmukaisia. Suntio kommentoi: ”Maaperätiedot ovat aina tutkimuksien

perusteella tehty tulkinta eli arvaus.” Lisäksi tutkimuksista saatua tietoa pidetään usein absoluuttisena totuutena, kun rakennustyöt aloitetaan.

Eräs Ville Sution käytännön esimerkki jo toteutuneesta meluseinähankkeesta. Meluaita oli suunniteltu perustettavan kallionvaraisilla anturoilla, kalliopinta poikkesi kuitenkin tulkitusta siten että se olikin ylempänä kuin piti, jolloin anturatyyppejä vaihdettiin pilarianturaan. Tässä vaiheessa elementit oli jo tilattu työmaalle, mutta ne eivät sopineetkaan paikoilleen. Maastossa olisi pitänyt tutkia tilanne paremmin ennen elementtien tilaamista. Toki jokaista kalliota ei voida paljastaa ja sitten vasta tilata tavaraa. Tässäkin kohteessa tehtyjen kallion pinnan tason tutkimuksissa ei voi näytepisteiden välillä havaita kallion jyrkkää nousemista. Meluaita saatiin kuitenkin kohdullisilla muutoksilla paikoilleen. (Kuva 12)



Kuva 12. Kuvassa näkyvät kalliot oli kartoitettu, mutta niiden korkeussijainnin arviointi epäonnistui. Kalliot nousivat osittain pystysuoraan ylöspäin, jolloin meluseinäelementtiin jouduttiin tekemään kuvassa näkyvät muutokset.

## 5 MELUSEINÄN TERÄSPUTKIPAALUTUKSEN TAUSTATIIETOA

Hankkeena on valtatie 8 perusparannus välillä Hangassuo-Niittymaa, joka on pituudeltaan yksitoista kilometriä pitkä ulottuen Porista Eurajoelle. Pääurakoitsijana toimii Destia Oy, jolle teen tämän opinnäytetyön. Destia on liikevaihdolla mitattuna Suomen toiseksi suurin infra-alan yritys.

Valtatielle rakennetaan ohituskaistapari, kaksi siltaa, pyöräteitä ja yli kuusi kilometriä pitkä maantie, joka kulkee valtatie rinnalla. Tälle tielle ohjataan mopot, traktorit, polkupyörät sekä muu hidas liikenne. Uuden maantien linjalta on kaadettu siinä kasvanut puusto, eikä lähimmän talon ja maantien väliin jää ainoatakaan puuta. Melutason mittaus tehdään lähtömelutasomittauksella. Lähtömelutaso määritellään 10 metrin etäisyydeltä melulähteestä ja sen tulisi olla piha-alueella alle 55 dB. Lähtömelutasoon vaikuttaa ainakin seuraavat seikat: nopeusrajoitus, liikennemäärä, raskaiden ajoneuvojen osuus, tien mäkisyys, renkaat ja tien päällyste. (Liikenneviraston www-sivut 2006)

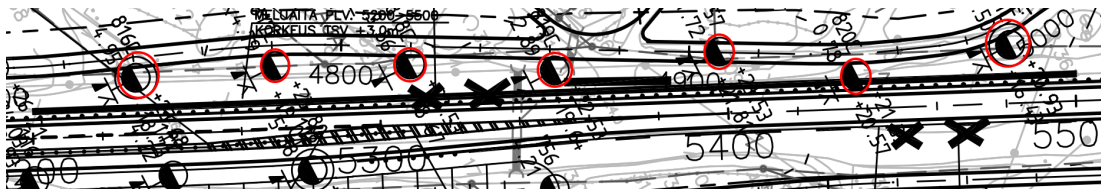
Meluseinän pituus on kolmesataa metriä ja se rakennetaan neljä metriä pitkistä valmiiksi kootuista puuverhoilluista teräselementeistä teräsputkipaalujen varaan (liitteet 1-4). Maaperätutkimusten mukaan pelkkiä teräsputkipaaluja asennettaisiin viisikymmentäkuusi ja kaksikymmentä perustusta tehtäisiin maanvaraisella anturalla, johon valettaisiin lyhyt teräsputkipaalu. Työmaan työmaapäällikkö oli päättänyt yhdessä tilaajan kanssa, että kustannussyistä meluseinä toteutetaan pelkästään teräsputkipaalurakenteella. Meluseinään suunniteltu maanvarainen anturaperustus olisi maksanut laskentavaiheen laskelmien perusteella 41 590 euroa.

### 5.1 Maaperätutkimukset kohteesta

Meluseinän alueelta oli tehty 7 kpl pohjatutkimuksina painokairauksia (kuva 13). Näistä näytteistä kahdesta pisteestä otettiin häiriintynyt näyte. Alkupäässä ensimmäiset 10- 20 metriä maaperä on moreenia. Paaluvälillä 20- 170 päällimmäisenä maaker-

roksena on hienoa hiekkaa ja silttiä on 1-2 metrin paksuinen kerros. Tämän kerroksen alla on 1,2-2,5 metrin paksuinen kerros pehmeää savea. Välillä 140-170 ei pehmeää savea havaittu lainkaan. Alimpana maakerroksena on moreeni. Tutkimukset päättyivät kiveen tai kallioon 4-5 metrin syvyydessä välillä 20- 140, välillä 140-170 2,9 metrin syvyyteen.

Tästä eteenpäin paaluun 250 asti maaperä on tiivistä moreenia ja kairaus päättyi 0,8-1,7 metrin syvyyteen. Viimeisen viidenkymmenen metrin matkalla päällimmäisenä maakerroksena on moreenia 1-1,5 metrin paksuinen kerros, joka on todennäköisesti täytemaata. Moreenin alla on 1,5-2 metriä pehmeää savea, jonka alla moreenia. Kairaus päättyi kiveen tai kallioon 4,5 metrin syvyydessä.



Kuva 13. Meluseinän pohjatutkimuskartta, punaisella merkatuista pisteistä otettiin painokairausnäyte.

## 5.2 Paalujen pituudet tutkimusten perusteella ja todellisuudessa

Välillä 0-170 matalimmat paalut ovat heti alueen alussa ja lopussa juuri ennen suunniteltua anturaperustuspaikan aloituskohtaa. Ensimmäiset paalut on suunniteltu neljämetrisiksi ja toisessa päässä vain kaksi ja puoli metriä. Tällä välillä pisimmät paalut oli suunniteltu seitsenmetrisiksi ja yli kuusimetrisiä paaluja piti olla 30 kappaletta.

Alunperin anturaperustuksella suunnitellulle välille 170- 250 olisi tullut 20 kappaletta 1,4 metrin pituisia putkia, jotka olisivat olleet 30 sentin syvyydessä anturavalussa. Viimeiset kolmetoista paalua oli suunniteltu pääosin viisimetrisiksi, mutta myös muutama lyhyempi paalu oli näiden joukossa.

Vain yksitoista paalua oli todellisuudessa kuusi metriä tai sitä pidempiä välillä 0-170. Pisin lyöty paalu oli 6,9 metriä ja paalujen keskimitta välillä oli 4,7 metriä. Alunperin anturaperusteiseksi suunnitellulle välille meni 73,3 metriä paalua, pisimmän paalun ollessa 6,9 metriä. Kahdeksan paalua kahdestakymmenestä meni yli kolmen ja puolen metrin syvyyteen. Viimeiset kolmetoista paalua menivät pääosin suunniteltua syvemmälle pisimmillään 5,8 metriin. Keskimitaksi tuli 5,3 metriä

### 5.3 Vertailu tutkimuksen ja lopputuloksen välillä

Suunnitelman mukainen paalun keskipituus oli 5,79 metriä eli paalumetrejä säästyi 48,5 välillä 0-170. Väli 170- 250 oli suunniteltu anturoilla perustettavaksi. Maaperä kuitenkin osoittautui osin erilaiseksi kun oli suunniteltu. Tiivis moreeni loppuikin jo aiemmin kuin piti ja kahdeksan paalun osalta maassa oli pahimmillaan yli kolmen metrin savikerros. Viimeisten kolmetoista paalun keskimitta oli suunnitelmien mukaan 4,8 metriä. Todellisuudessa jokainen lyöty paalu meni puoli metriä syvemmälle.

Mikäli huomioidaan pelkästään teräsputki-paaluilla suunniteltu paalutustyö, niin paalumetrejä meni 269,4 metriä, kun suunnitelmien mukaan menekki olisi ollut 311,3 metriä. Tässä tapauksessa paaluja meni 13,4 % vähemmän kuin oli suunniteltu. Jos otetaan huomioon myös anturoille varatut putkimetrimäärät, ovat luvut vastaavasti 342,7 metriä, suunnitellun 339,3 sijaan. Tosin tämä luku ei ole vertailukelpoinen metrimäärältään.

### 5.4 Työn kulku

Työt aloitettiin kolmastoista helmikuuta kaivamalla pohjat mursketäytön alapinnan tasolle (kuva 14). Kolmen päivän päästä tuli paalutuskone lyömään paaluja ennalta merkatuille paikoille (kuva 15). Paalutuskone teki työnsä viikossa ja paalut saatiin katkaistua ensin polttoleikkaamalla suurin piirtein korkoon (kuva 16).

Tämän jälkeen paalut asennettiin Leica piper 100 putkilaserin avulla pituussuunnassa oikeaan linjaan (kuva 17), mittatoleranssi on +/- 2mm. Leveyssuunnassa sallittiin suurempi mittapoikkeama sillä 220 mm halkaisijaltaan olevan paalun päähän hitsattiin



500 mm x 500 mm x 30 mm paksuinen teräslevy, johon aitaelementin pylväät asennetaan. (Liite 2, Liite 4)

Paalut katkaistiin millin tarkkuudella. Paikalla oli Destian mittamies mittaamassa prismalla levyt oikeille paikoilleen (kuva 18), jonka jälkeen levyt hitsattiin kiinni paaluihin. Tämän jälkeen tehtiin paalujen ympärille mursketäyttö 300 mm kerroksin 0-63 mm tärylevyllä täryttäen (kuvat 19 ja 20).



Kuva 14. Kaivu-ura, johon merkattu paalujen paikat



Kuva 15. Paalut ennen katkaisua, kuvissa myös paalutuskone



Kuva 16. Katkaistavaa paalua tuettiin kaivinkoneen pihdeillä. Paalujen yläpää mitattiin ja jokaisesta 12 metrisestä paalusta saatiin 2-3 kappaletta oikeanmittaisia paaluja. Myös lähellä olevat sähköjohdot vaativat työn suoritukselta erityistä tarkkuutta.



Kuva 17. Putkilasersäde näkyy mittalevyssä. Kaivinkone asettaa paalun kohdalleen.



Kuva 18. Mittamies asettaa hitsattavan levyn putkipaalun päälle millin tarkkuudella.



Kuva 19. Kerroksittainen mursketäyttö aloitettu ja levyihin asennettu kiinnityspultit



Kuva 20. Tähänastiset maatyöt ovat valmiit. Luiskien muotoilu ja multausta tehdään aitaelementtien asennuksen jälkeen keväällä 2017.

## 6 TULOKSET

Hanke alkoi tavarantilauksella ja ensimmäisenä työnä oli teräsputkipaalujen tilaus. Paalumäärä oli arvioitava, sillä perustustavan muutoksesta johtuen tilattava määrä kasvoi. Paaluja tilattiin 36 kappaletta sillä perusteella, että paalujen keskipituus jää alle kuuden metrin ja osassa kohdetta alle neljän metrin, jolloin kaksitoista metriä pitkistä paalusta saadaan kolme neljän metrin paalua. Paaluja meni yli 13 prosenttia vähemmän kuin oli suunniteltu, mikä oli todella positiivinen yllätys.

Meluseinän pohjatutkimuksia ei oltu otettu meluseinän kohdalta, vaan jokainen seitsemästä mittapisteestä sijaitsi kahdesta kuuteen metriin perustusten länsipuolella. Todennäköisin syy tälle oli se ettei hankkeen aloitusvaiheen suunnitelmissa ollut vielä suunniteltu meluaitaa. Maaperätutkimukset oli tehty maantietä varten ja koska meluaita myöhemmin suunniteltiin maantien läheisyyteen, ei koettu tarpeelliseksi tehdä tarkempia tutkimuksia.

Näytteenottoaikojen ja seinän välissä kulki osittain syvä oja, joka olisi hankaloittanut kairauksen tekemistä sen kohdalla. Lisäksi painokairaustutkimuksissa oli tehty oletuksia, että jokaisen kahden kairauksen välinen kovan maakerroksen taso kulkee maaperässä lineaarisesti pisteiden välillä. Tämä kyseinen tapa on kuitenkin oikea tapa toimia suunnitteluvaiheessa. Kovan kerroksen taso kuitenkin vaihtelee maan alla eikä missään nimessä kulje tasaisesti pisteestä toiseen.

Meluseinää lähinnä olevan mittauspisteen kairaustuloksen perusteella oli perustustavaksi suunniteltu anturaperustus. Tätä kairauspistettä lähinnä olevat paalut lyötiin 4,8-6,9 metrin syvyyteen, vaikka kairaus oli päättynyt ainoastaan seitsemänkymmenen kahdeksan senttimetrin syvyyteen. Tällä kohdin paalu kuitenkin meni lyömättä yli kahden metrin paksuisen savikerroksen läpi. Mikäli anturaperustus olisi tehty, olisi kovan moreenikerroksen alla ollut savi voinut häiriintyä eikä lopputuloksesta olisi ollut mitään varmuutta.

Anturaperustus oli alun perin suunniteltu, koska painokairaus oli päätynyt kahdessa vierekkäisessä mittauspisteessä kiveen tai kallioon alle kahden metrin syvyydessä. Mikäli näiden kahden pisteen välistä olisi otettu kairausnäyte, joka ei olisi osunut pintakiviin, anturaperustusta olisi tuskin suunniteltu alunperinkään.

Lopputuloksiin kuuluu myös kustannusten vertailu, joka tehtiin toteutuneiden kulojen ja tarjouslaskennassa olevien laskelmien välillä. Tarjouslaskennassa oli mukana myös anturaperusteinen osuus.

Tarjouslaskennassa koko hankkeen arvo perustusten osalta oli 81289 euroa, josta kahdenkymmenen anturan osuus olisi ollut 41590 euroa eli yli puolet koko työn arvosta. (liite 5) Työ tehtiin koko matkalta kuitenkin 220 mm teräsputkipaaluja käyttäen ja se kannatti. Kustannuksia kertyi ainoastaan 49911 euroa (liite 6), joten säästöä alkuperäiseen laskelmaan syntyi 31378 euroa. Suurimmat säästökohdat olivat pienentynyt murskeen määrä, sillä ympärystäytöjä ja arinaa piti tehdä vähemmän. Lisäksi betonianturoihin oli laskettu paljon työtä (muottilaudoitus, raudoitus, betonointi, jälkihoito, muotin purku). Kaivinkoneen tuntimäärän arviointi ja paalutustyön kesto oli laskelmallisesti oikeita, toki tuntihinnat olivat hieman muuttuneet.

Paalutuskoneen saaminen ylipäänsä helmikuussa oli haastavaa vallitsevan rakennusbuumin aikana. Työvaiheen tuli olla valmis 13.3 mennessä, mutta se valmistui noin viikkoa aiemmin 6.3. Lisäksi paalujen yläpään tulevien levyjen sijainninmittausta ei oltu laskettu tarjoukseen. Muilta osin hanke sujui pääosin suunnitellusti.

## 7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia maaperätutkimusten merkitystä teräsputkipaalutuksessa. Tutkimuksen konkreettisena kohteena oli Destia Oy:lle tehty vertailu ennalta tehdyistä maaperätutkimuksista ja niiden oikeellisuudesta teräsputkipaaluperusteisessa meluseinässä. Opinnäytetyössä kerrotaan taustatietoa maalajeista ja niiden ominaisuuksista ja käyttömahdollisuuksista rakentamisessa. Näitä tietoja on kerätty internetistä, opetusmateriaaleista ja muusta kirjallisuudesta. Lisäksi tehtiin kaksi henkilöhaastattelua.

Suomen rannikkoalueilla joudutaan tekemään paalutuksia huomattavasti enemmän kuin sisämaassa. Tämä johtuu nimenomaan rannikoilla esiintyvistä savimaasta, jota on maankohoamisen seurauksena paljastunut alueilta jotka olivat ennen merenpohjaa. Paalutukset yleistyvät tämän vuoksi koko ajan. Perinteisen teräsbetonipaalutuksen kilpailijaksi on noussut teräsputkipaalutus.

Esimerkkihankkeessa käytettiin halkaisijaltaan 220 mm olevia SSAB:n RR-paaluja. Paalutustyö sujui ongelmitta, mutta nopeasti kävi ilmi että maaperätutkimukset eivät vastanneet todellisuutta. Painokairatutkimuksia ei oltu tehty meluseinän kohdalta, tämä vaikutti suoraan paalujen lyöntisyvyyteen. Tällä kertaa maan alla oleva hyvin kantava pohjamoreeni sijaitsi lähempänä maanpintaa.

Säästöjä hankkeessa olisi voitu saada käyttämällä paalutustyössä pienikokoisempaa pontin- tai paalunlyöjäjuntaa, mutta koska maan routasyvyys ulottui helmikuussa melko syvälle ja täyte- sekä pohjamaassa oli suuria kiviä, jouduttiin turvautumaan pudotusjärkälleellä varustettuun paalutuskoneeseen.

Korjausehdotuksena tuleville hankkeille toivotaan täsmällisyyttä kairauspaikkojen suhteen. Lisäksi seitsemän kairausta kolmensadan metrin matkalta on liian vähän. Oikeampi määrä olisi ollut mahdollisesti hieman suurempi, mutta tärkeämpi asia on,

että tutkimukset oltaisiin tehty rakennettavalta perustuslinjalta. Samaa mieltä oli henkilöhaastattelussa ollut Destian asiantuntijapalveluiden projekti- ja kehityspäällikkö Ville Suntio.

Tässä hankkeessa maaperän kantava kerros johon paalut lyötiin sijaitsi oletettua lähempänä maanpintaa, jolloin saatiin säästöjä materiaalin menekissä ja työkustannuksissa. Vaikka maaperätutkimuksia tehtiin tässä kohteessa vähän ja vääristä paikoista, se ei aina tarkoita lisäkuluja. Toivottavaa kuitenkin on, että maaperätutkimukset tehtäisiin mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti. Tällöin maaperätutkimusten tarkkuus paranee ja mahdollisia lisäkuluja syntyy vähemmän.



## LÄHTEET

Fgi:n www-sivut. 2012. Viitattu 14.4.2017

<http://www.fgi.fi/fgi/fi/teemat/maannousu>

Finnsementin www-sivut. 2009. Viitattu 14.4.2017

<http://www.finnsementti.fi/Tietoa-stabiloinnista-Pilaristabilointi>

Geologian www-sivut. 2007. Viitattu 18.2.2017

<http://www.geologia.fi/index.php/2011-12-21-12-30-30/2011-12-21-12-39-11/2011-12-21-12-39-51/moreeni>

Geologian www-sivut. 2007. Viitattu 23.2.2017

<http://www.geologia.fi/index.php/2011-12-21-13-02-26/527-k>

GTK:n www-sivut. 1982. Viitattu 18.2.2017 [http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-](http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/maalajiluokitus2.htm)

[opas/maalajiluokitus2.htm](http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/maalajiluokitus2.htm)

Henkilöhaastattelu Rauman geotiimin vastaava asiantuntija Matti Välimaa

28.2.2017. Viitattu 2.3.2017

Henkilöhaastattelu Destian Asiantuntijapalveluiden kehityspäällikkö Ville Suntio

4.4.2017 Viitattu 4.4.2017

Htm-yhtiöt www-sivut. 2014 Viitattu 14.4.2017

<http://htmyhtiot.fi/paalut/terasbetonipaalu>

Jääskeläinen, R. 2009. Geotekniikan perusteet. Viitattu 1.4.2017

Liikenneviraston www-sivut. 1998. Viitattu 23.2.2017

<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf2/pehmtutk3200520.pdf>

[Liikenneviraston www-sivut 2006. Viitattu 7.4.2017](http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/meluesite_tammikuu_06_a4.pdf)

[http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/meluesite\\_tammikuu\\_06\\_a4.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/meluesite_tammikuu_06_a4.pdf)

Rakentajan www-sivut. 2012. Viitattu 18.2.2017

<https://www.rakentaja.fi/artikkelit/11/maalajit.htm>

Samk:in luentokalvot. 2015. Viitattu 18.2.2017 Pohjarakennus ja geotekniikka, luentokalvot 3

Suomen geoteknillisen yhdistyksen www-sivut. 2005. Viitattu 24.3.2017

[www.getunderground.fi/getfile.ashx?cid=72843&cc=3&refid=1](http://www.getunderground.fi/getfile.ashx?cid=72843&cc=3&refid=1)

SFS-käsikirja 179-3. 2009. Geotekninen tutkimus ja koeistus. Viitattu 1.4.2017

SSAB:n www-sivut. 2015 Viitattu 14.4.2017

<http://www.ssab.fi/tuotteet/terasluokat/infrastruktuuri/tuotteet/steel-piles-micropiles>

Trimillin www-sivut. 1994. Viitattu 18.2.2017 <http://www.trimilli.fi/raktie.html>

Valokuvia kohteesta Vt8 parantaminen välillä Hangassuo-Niittymaa ajalta  
13.2.2017-2.3.2017 Viitattu 24.3.2017

## LIITTEET

LIITE 1. Meluseinän yleispiirustukset, kuvat 1 ja 2.

LIITE 2. Meluseinän yleispiirustukset, kuvat 3 ja 4.

LIITE 3. Meluseinän yleispiirustukset, kuvat 5 ja 6.

LIITE 4. Meluseinän mittapiirustukset, kuvat 7 ja 8.

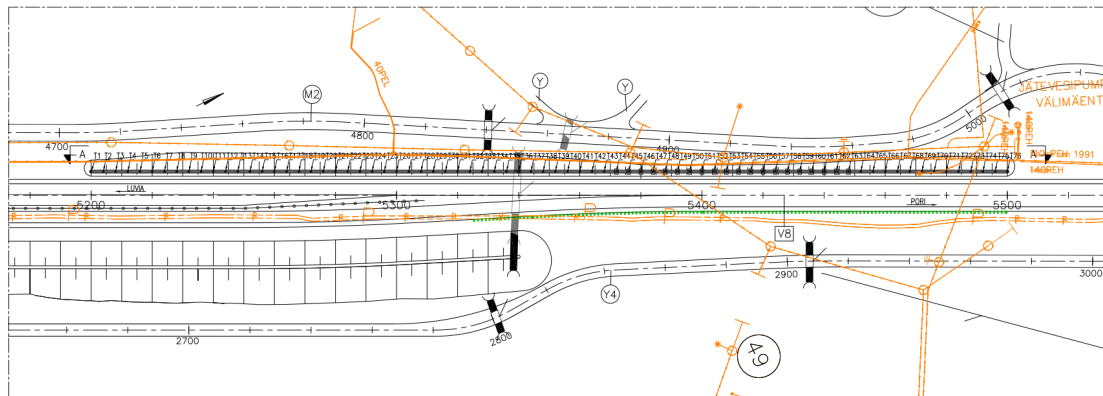
LIITE 5. Meluseinän pohjatöiden tarjouslaskelma ennen hankkeen alkamista

LIITE 6. Meluseinän pohjatöiden toteutuneet kulut

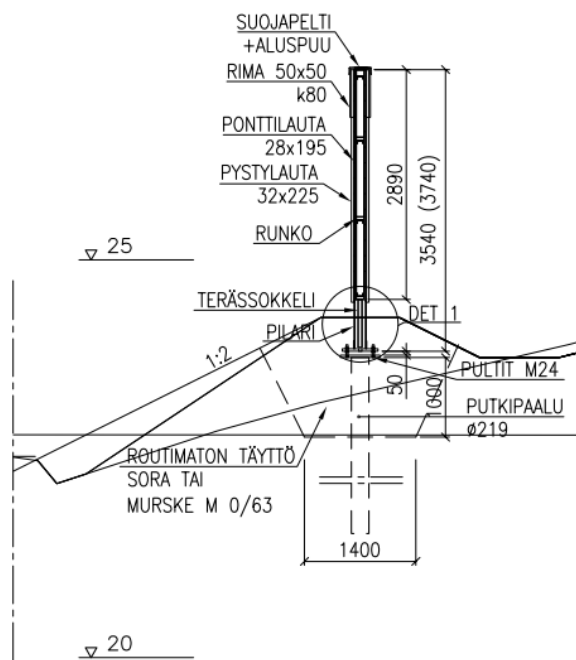
LIITE 7. Paalutuspöytäkirja

## MELUSEINÄN YLEISPIIRUSTUKSET

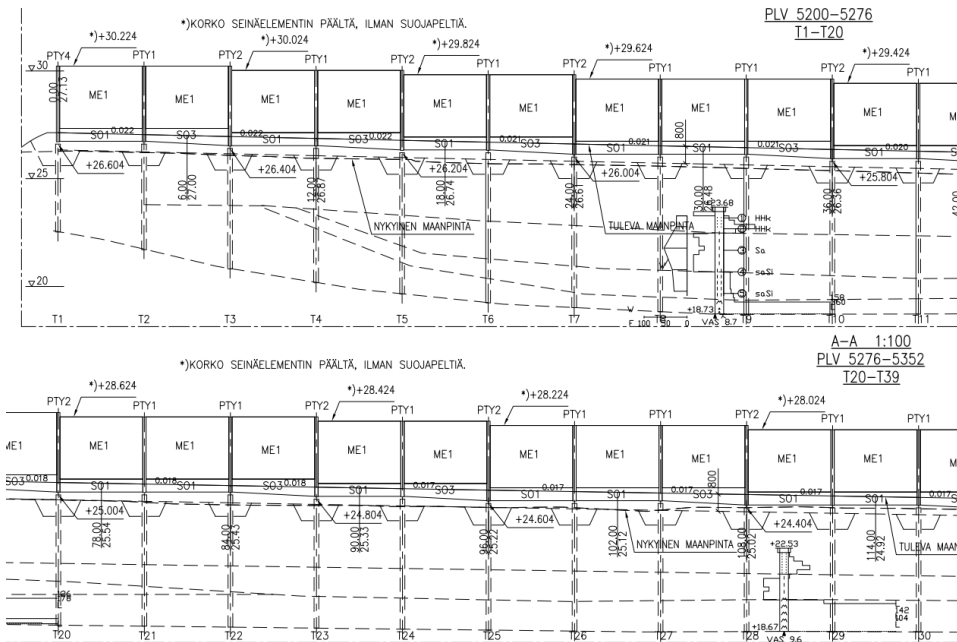
Kuvassa näkyy kolmesataa metriä pitkä meluseinä sekä tiet Vt8 ja M2, jonka väliin meluseinä sijoittuu paaluvälillä 5200-5500. Alueella sijaitsevat talot ovat M2- tien varrella y-teillä.



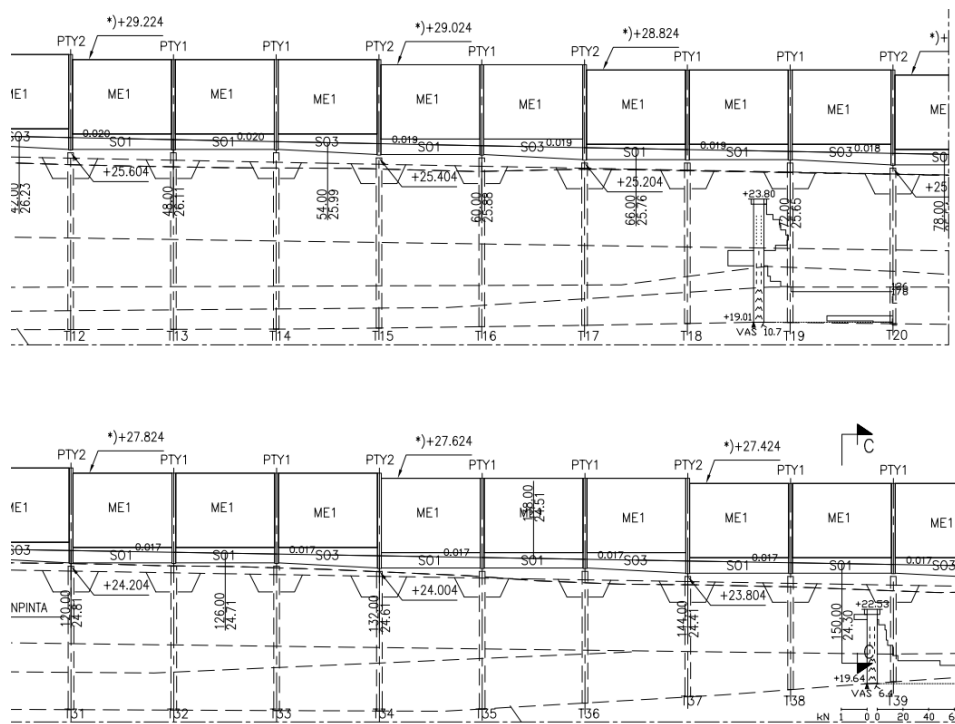
Kuva 1. Meluseinän V8 yleispiirustus plv 5200-5500, Yleispiirustus 1 piir. nro R9/9



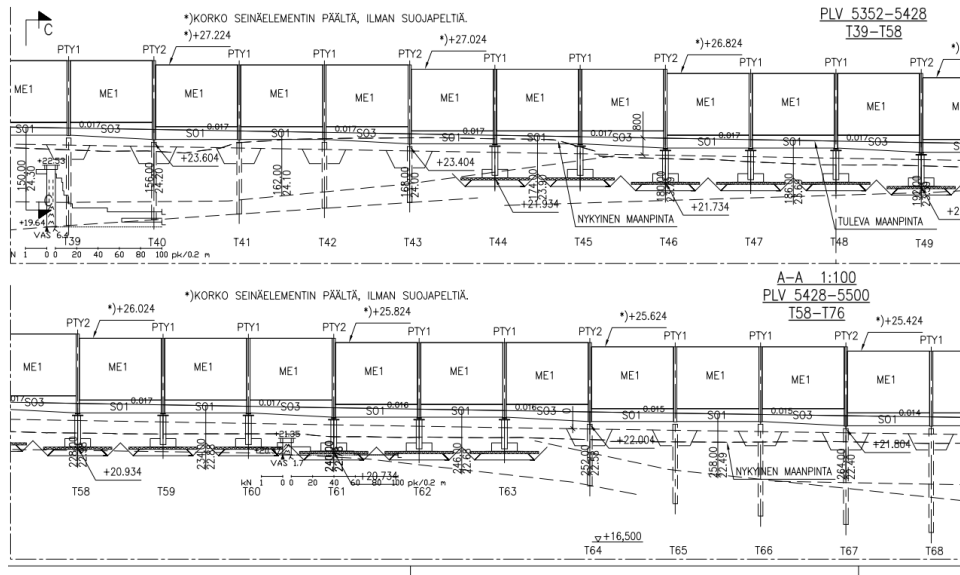
Kuva 2. Meluseinän V8 yleispiirustus plv 5200-5500, Yleispiirustus 1 piir. nro R9/9 leikkaus C-C



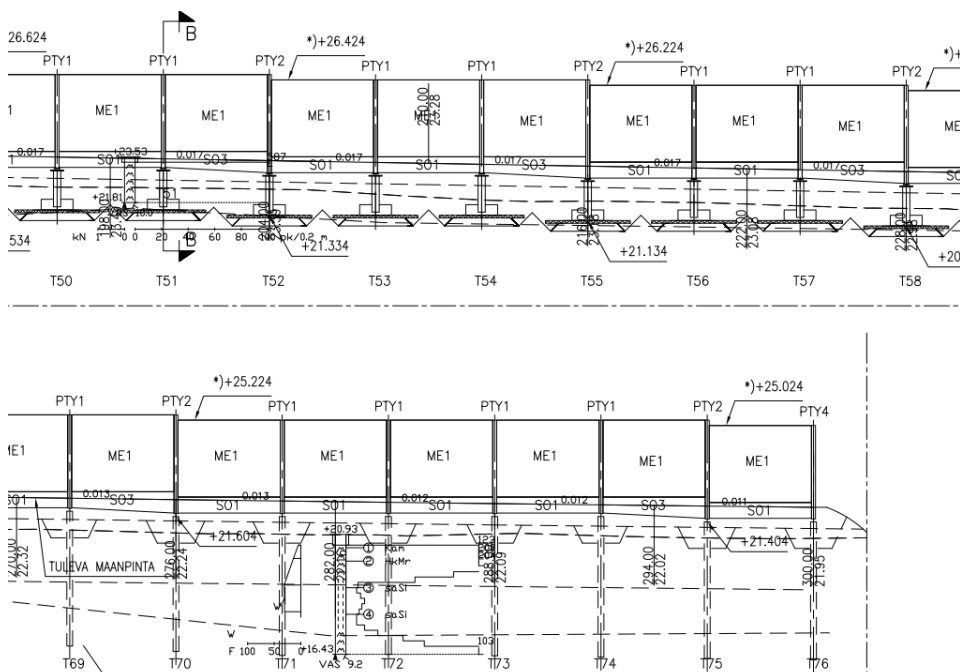
Kuva 3. Meluseinän V8 plv 5200-5500, yleispiirustus 2 piir. nro R9/10 paalut 1-10 ja 20-30



Kuva 4. Meluseinän V8 plv 5200-5500, yleispiirustus 2 piir. nro R9/10 paalut 12-20 ja 31-39

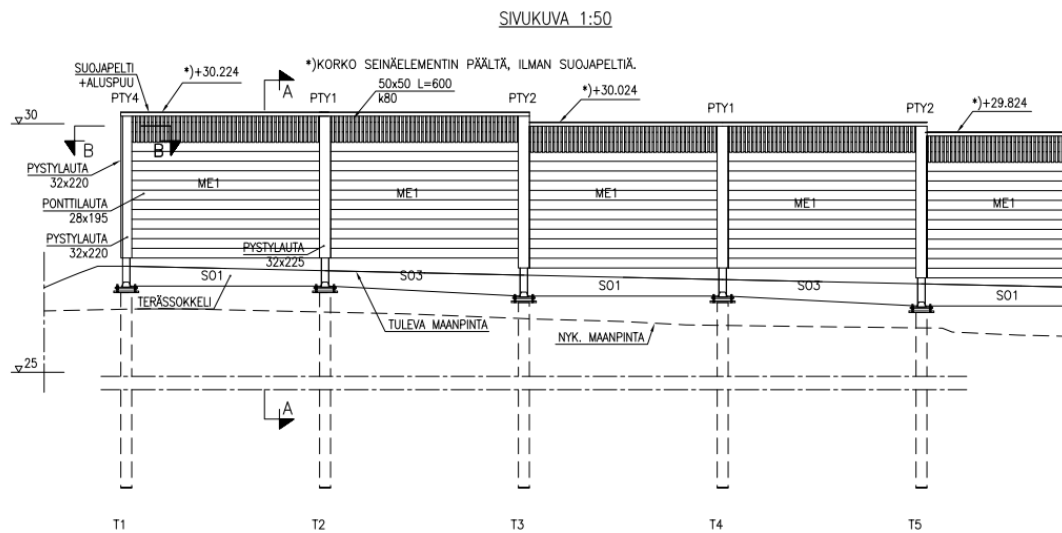


Kuva 5. Meluseinän V8 plv 5200-5500, yleispiirustus 2 piir. nro R9/10 paalut 39-49 ja 59-68

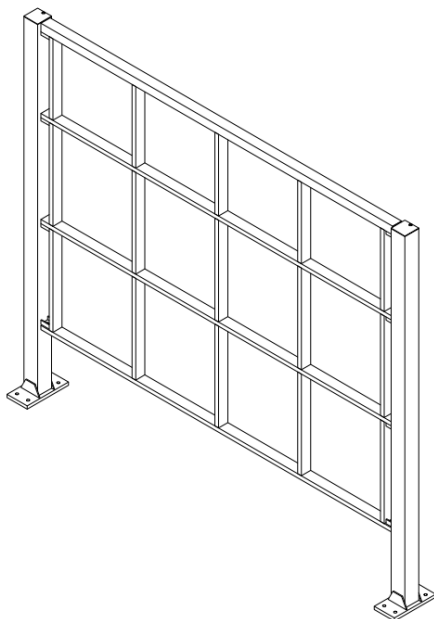


Kuva 6. Meluseinän V8 plv 5200-5500, yleispiirustus 2 piir. nro R9/10 paalut 50-58 ja 69-76

## MELUSEINÄN MITTAPIIRUSTUKSET



Kuva 7. Meluseinän V8 plv 5200-5500, mittapiirustus piir. nro R9/11 havainnekuva sivusta



Kuva 8. Meluseinän V8 plv 5200-5500, mittapiirustus piir. nro R9/11 valmiiksi koottu elementti ilman puuverhoilua

Meluseinä, h=3,0 m

1. Tarjous asennettuna , P1 perustukset. Urakkaraja paalujen tai sokkelin lätkässä
2. Perustuselementit, AE 1; T 44...63  
Perustuselementit, arvio n. 600 €/m³->  
putkiHähdä, KS, SATAMETALLI (oma vertailuhinta, 459 €/kpl)
- 2.1 Aseennus, 2,5 t/kpl+ rahdit
- 2.11 arina, yhtenäinen 80 m\*4\*0,3  
Kam 0.31  
Kam  
KH25 T  
Tärytys 400 kg diesel
- 2.12 kaivuu/sivou/aajo 0.1 km 80 m\*2,3= 1100 m³; Ajo n. 50%, sis vrotto
- 2.4 Routaeriste (9-levyjä/piste= 13,5 m²\*20kpl=  
Routaer 300, m=100  
rahti  
rahti  
rahti  
rahti  
KH25 T
- 2.5 Ympärystäytöt (80\*6\*1,5)=  
Kam 0.56  
Kam  
KH25 T  
Tärytys 400 kg diesel
3. paaluperustukset, (0 219\*10, 51,6 kg/m L=6 m  
ME 0 219\*10; L=8  
maakärijet
- 3.1 Paalutus 0 219\*10; 56 kpl \*6m/336 jm  
teräspalkkupaalutus, RR 219, km-pituus 6m ??  
särmä  
kattaus
- 3.2 ympärystäytöt (2\*1,6\*1)\*56=180 m³+ sokkelin kohta (56 kpl\*4m\*0,8\*1= 224 m\*0,8\*1= 180 m³  
Kam 0.56  
Kam  
KH25 T  
Tärytys 400 kg diesel
4. pilarit (PTY 4; 126,1 kg=>3,93 €/kg; PTY 2 136 kg=> 4,13 €/kg  
Dia 7, 1,13 kN/kg KS  
hitant, levy: 1h/levy

				300 m	1 040 €	311 897 €		
				Määrä	Hinta	Yhteensä	Yksikköhinta	
<b>AH Alurakka</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>300</b>	<b>0 tv8</b>	<b>300 m</b>	<b>760 €</b>	<b>228 000 €</b>
<b>AT Materiaali</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>0 tv8</b>	<b>20 kpl</b>	<b>2 079 €</b>	<b>41 590 €</b>
<b>AH Alurakka</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>0 tv8</b>	<b>20 kpl</b>	<b>504 €</b>	<b>10 080 €</b>
								<b>594 €</b>
HE Henkilötyö RAM	2	1	1	20 m	10 tv8	32 h	30 €	960 €
AH Aikone HRB	1	1	1	20	10 tv8	16 h	60 €	960 €
JM Materiaali KAM0.31	1	2,3	1	220,8	0 tv8	220,8 t	7 €	1 445 €
HE Henkilötyö RAM	2	1	1	96 m	96 tv8	16 h	30 €	480 €
AH Aikone KH25 T	1	1	1	96 m	48 tv8	16 h	61 €	1 008 €
VU Muut MAATÄRY	0,020833	1	1	96	0 tv8	3 vrk	35 €	70 €
								<b>0,729167</b>
								<b>1100 m³</b>
AH Aikone KH25 T	1	1	2	2200 t	420 tv8	41,904762 h	61 €	1 640 €
AH Kulkutus/h KA30-4 AAS	0,5	1	2	2200 t	420 tv8	20,952381 h	62 €	1 299 €
								<b>2,4</b>
								<b>1,180952</b>
								<b>270 m²</b>
AT Materiaali	1	1	1	270	0 tv8	270 m²	15 €	3 948 €
AT Muut	1	0,1	1	27	0 tv8	27 m³	3 €	81 €
AT Muut	0,003704	1	1	270	0 tv8	1 m³	40 €	108 €
HE Henkilötyö RAM	2	1	1	270 m	432 tv8	10 h	30 €	300 €
AH Aikone HRB	1	1	1	270	270 tv8	8 h	60 €	480 €
AH Aikone KH25 T	1	1	1	270 m	216 tv8	10 h	61 €	610 €
								<b>1,111111</b>
								<b>1,777778</b>
								<b>2,333333</b>
								<b>720 m³</b>
JM Materiaali KAM 0.56	1	2,3	1	1656 t	0 tv8	1656 t	6 €	10 433 €
HE Henkilötyö RAM	2	1	1	720 m	480 tv8	24 h	30 €	720 €
AH Aikone KH25 T	1	1	1	720 m	240 tv8	24 h	63 €	1 512 €
VU Muut MAATÄRY	0,004167	1	1	720	0 tv8	3 vrk	35 €	105 €
								<b>0,145833</b>
<b>AT Materiaali</b>	<b>1,33</b>	<b>1</b>	<b>56,1</b>	<b>18849,6</b>	<b>0 tv8</b>	<b>25070 kg</b>	<b>106 €</b>	<b>35 587 €</b>
<b>AT Materiaali</b>	<b>0,166667</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>336</b>	<b>0 tv8</b>	<b>56 kpl</b>	<b>30 €</b>	<b>20 056 €</b>
								<b>59,6904</b>
								<b>5</b>
								<b>336 m</b>
AH Aikone	1	1	1	336	168 tv8	16 h	90 €	1 440 €
AH Muut	0,002076	1	1	336	0 tv8	1 kpl	500 €	1 440 000 €
AH Muut	0,166667	1	1	336	0 tv8	56 kpl	50 €	2 800 €
								<b>8,333333</b>
								<b>360 m³</b>
JM Materiaali KAM 0.56	1	2,3	1	828 t	0 tv8	828 t	6 €	5 216 €
HE Henkilötyö RAM	2	1	1	360 m	144 tv8	40 h	30 €	1 200 €
AH Aikone KH25 T	1	1	1	360 m	72 tv8	40 h	61 €	2 520 €
VU Muut MAATÄRY	0,013889	1	1	360	0 tv8	5 vrk	35 €	175 €
								<b>0,486111</b>
								<b>76 kpl</b>
AT Materiaali	0,798842	1	1	76	0 tv8	56 kpl	65 €	3 640 €
AH Alurakka	0,798842	1	1	76	0 tv8	56 kpl	55 €	3 080 €
								<b>47,884737</b>
								<b>40,526116</b>



**Toteutuneet kulut**

	Määrä		Hinta €	Yhteensä €
<b>3 Paaluperustukset</b>				<b>41709</b>
Pohjien kaivutyö Kkh 25 t + Ram	32	h	65+30	3040
Paalujen sijainnin merkkäminen	4	h	30	120
Materiaali	432	m	43,8	18922
Materiaalin purkutyö	2	h	63,5	127
<b>3.1 Paalutus</b>				<b>12170</b>
Paalutustyö	343	m	1000/vrk	5000
Paalujen siirrot Kkh 25 t + Ram	24	h	65+30	2280
Siirrot	1	kpl	500	500
Katkaisut	40	h	31,5	1260
Laikat,polttoaineet aggregaattiin ym.	1	kpl	90	90
Paikalleen mittaus Kkh 25 t + Ram	32	h	65+30	3040
<b>3.2 Ympätystyöt</b>				<b>7330</b>
Kam 0-63	12x45	tn	6,5	3510
Kkh 25 t + Ram	40	h	65+30	3800
Tärylätjän polttoaine	1	kpl	20	20
<b>4 Pilarit</b>				<b>8202</b>
Osa 5	72	kpl	62,5	4500
Hitsaustyö	56	h	42	2352
Pultit ja mutterit	1	erä	1350	1350

# DESTIA

Vt8 Hangassuo-Isomäki, Luvia ja Pori

MELUSEINÄ p1v 5200-5500  
TERÄSPUTKIPAALUT

nro	dA	dB	dAB	Z	P
T1	-0,004	0,024	0,024	0,003	2,3
T2	0,01	0,004	0,001	0,005	2,5
T3	0,036	0,017	0,040	0,002	3,2
T4	0,044	0,028	0,052	0,006	2,6
T5	0,059	-0,003	0,059	0,004	2,9
T6	0,053	0,006	0,053	0	5,2
T7	0,041	0,025	0,048	-0,03	6,0
T8	0,049	0,014	0,050	-0,026	6,0
T9	0,041	0,008	0,042	-0,016	6,3
T10	0,035	0,001	0,035	-0,014	5,4
T11	0,034	0,014	0,037	-0,009	6,0
T12	0,036	0,024	0,044	-0,007	5,8
T13	0,030	0,003	0,031	-0,002	6,9
T14	0,020	0,002	0,031	-0,003	5,6
T15	0,018	0,022	0,028	-0,003	5,2
T16	0,032	0,004	0,032	0	5,9
T17	0,011	0,002	0,011	-0,006	6,0
T18	0,002	-0,001	0,003	-0,006	6,3
T19	0,002	-0,007	0,006	-0,005	6,0
T20	0,021	0,008	0,023	-0,006	5,8
T21	0,002	0	0,002	-0,006	6,6
T22	0,013	-0,009	0,015	0,001	6,6
T23	0,018	0,002	0,017	-0,002	5,8
T24	0,007	-0,003	0,008	-0,004	5,3
T25	0,004	-0,016	0,016	-0,001	6,0
T26	-0,002	0,011	0,011	0,002	5,6
T27	-0,014	0,016	0,021	0,003	5,4
T28	-0,013	-0,007	0,014	0,008	5,1
T29	-0,026	0,010	0,028	0,005	4,9
T30	-0,044	0,012	0,046	0,004	3,5
T31	-0,059	0,009	0,060	0,007	5,4
T32	-0,068	-0,003	0,068	0,004	3,6
T33	-0,048	0	0,047	0,007	3,4
T34	-0,051	-0,003	0,051	0,001	3,7
T35	-0,047	-0,013	0,049	0,002	3,2
T36	-0,045	-0,002	0,045	0,003	3,0
T37	-0,051	0,005	0,051	0	3,2
T38	-0,042	-0,013	0,045	0,001	3,9
T39	-0,033	-0,008	0,033	0,002	4,7
T40	-0,050	-0,013	0,052	0,003	2,6
T41	-0,018	-0,037	0,041	0,001	2,5
T42	0,011	-0,021	0,024	-0,002	2,6



Sijainti vaakatasossa määritetty katkaisukorkeudesta

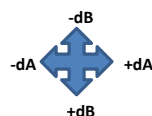
dA = Poikkeama sillan pituussuunnassa

dB = Poikkeama sillan poikkisuunnassa

dAB = Kokonaispoikkeama

Z = asennuslevyn korkeusasema

P = Paalun pituus (m)



nro	dA	dB	dAB	Z	P
T43	0,018	0,029	0,033	0,005	2,6
T44	0,016	0,015	0,022	0,001	2,7
T45	0,022	0,011	0,024	0,003	2,4
T46	0,021	0,008	0,023	0,008	3,1
T47	0,021	-0,015	0,026	0,011	3,2
T48	0,016	0,018	0,024	0,011	2,8
T49	-0,014	0,016	0,021	-0,001	2,5
T50	-0,001	0,002	0,001	-0,002	2,6
T51	0,002	0,002	0,003	-0,002	2,3
T52	-0,021	0,002	0,022	0	2,4
T53	-0,001	0,009	0,009	-0,001	2,7
T54	-0,017	0,006	0,018	0,002	3,3
T55	-0,006	0,003	0,007	0	3,4
T56	-0,003	-0,008	0,009	0,004	3,8
T57	0,012	-0,003	0,012	0,007	4,5
T58	0,025	-0,011	0,027	0,002	4,6
T59	0,001	-0,018	0,018	0,002	4,3
T60	0,026	0,001	0,025	0,004	4,8
T61	0,019	0,009	0,021	0,003	5,6
T62	0,013	0,006	0,015	0,002	6,9
T63	-0,002	0,013	0,013	-0,001	6,5
T64	0,005	0,004	0,007	-0,001	5,8
T65	-0,003	0,011	0,011	0,002	5,4
T66	-0,010	0,002	0,009	0	5,1
T67	-0,017	-0,001	0,017	0	5,4
T68	-0,008	0,002	0,008	0,001	5,5
T69	0,010	-0,005	0,012	-0,003	5,1
T70	-0,011	-0,005	0,012	0,003	5,4
T71	-0,019	-0,005	0,019	0,001	5,5
T72	-0,016	0	0,016	-0,001	5,5
T73	-0,001	0	0,001	0,001	5,7
T74	-0,003	-0,004	0,005	-0,004	4,8
T75	-0,004	0,021	0,021	0,002	4,8
T76	0,010	-0,003	0,010	0	5,0