OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ville Määttä

TERÄSPUTKIPAALUTUKSEN TYÖNSUUNNITTELU JA TOTEUTUS SILTOJEN PERUSTAMISESSA

TERÄSPUTKIPAALUTUKSEN TYÖNSUUNNITTELU JA TOTEUTUS SILTOJEN PERUSTAMISESSA

Ville Määttä
Opinnäytetyö
Syksy 2021
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, Yhdyskuntatekniikka

Tekijä(t): Ville Määttä
Opinnäytetyön nimi: Teräsputkipaalutuksen työnsuunnittelu ja toteutus siltojen perustamisessa
Työn ohjaaja(t): Jarmo Erho, Oulun ammattikorkeakoulu ja Antti Värri, GRK Infra Oy
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2021 Sivumäärä: 31 + 1 liite

---

Paalut voidaan jakaa toiminnallisesti kolmeen eri luokkaan: tukipaaluihin, kitkapaaluihin sekä koheesiopaaluihin. Paalut voidaan ryhmitellä myös tekotavan mukaan. Tekotapoja ovat esimerkiksi lyöntipaalut, porapaalut, kaivinpaalut, puristinpaalut sekä frankipaalut. Paalujen materiaaleina käytetään teräsbetonia, terästä sekä puuta. Suomessa yleisin paalumateriaali on teräsbetoni.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin teräsputkesta tehtyjä lyöntipaaluja, jotka toimivat tukipaaluina. Teräsputkipaalut voidaan lyödä kärjestään suljettuina tai avoimina. Kärjestään avoimena lyötävät teräsputkipaalut syrjäyttävät vähemmän maata kuin kärjestään suljetut paalut. Jos paalut on tarkoitus upottaa kallioon asti, täytyy paalut varustaa kalliokärjellä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä lyöntipaalutukseen ja siihen liittyviin työvaiheisiin sekä kerätä tietoa paalutustyöstä siltakohteessa. Esimerkkikohteena käytettiin Kemin Karihaaran kaupunginosan GRK infra Oy:n urakoimaa Sahansaarenkadun rakentamisurakkaa. Urakka alkoi 2021 keväällä ja kestää 2023 kesään saakka.

Työssä tutustuttiin jo olemassa oleviin lyöntipaalutuksen ohjeisiin ja tietoperustoihin. Aiheeseen perehdyttiin myös käymällä läpi raportteja, havainnoimalla työmaan etenemistä ja kuvaamalla työvaiheita. Opinnäytetyötä tehtiin paalutustyön eri työvaiheiden etenemisen mukaan.

Työssä saatiin laadittua selkeä kuva teräslyöntipaalutuksen eri työvaiheista sekä lyhyt muistilista teräsputkipaalutuksen suunnittelussa ja toteutuksessa huomioitavista asioista. Muistilistaa voidaan käyttää apuna tulevissa hankkeissa paalutustyön suunnittelussa sekä toteutuksessa

---

Asiasanat: Teräslyöntipaalu, paalutus, ohje, teräsputkipaalu, paalutustyö, siltarakentaminen, paalu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, Option of Municipal Engineering

---

Author(s): Ville Määttä
Title of thesis: Work Design and Implementation of Steel Pipe Piling in the Establishment of Bridges
Supervisor(s): Jarmo Erho, Oulu University of Applied Sciences and Antti Värri, GRK Infra Oy
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2021
Number of pages: 31 + 1 appendix

Bridges can be set up in an earth and rock manner, on built stuffing or on piles. The choice of the method of establishment is substantially influenced by soil conditions and structure impact effective loads. In soft areas, setting up a bridge with piles may be the only sensible way. As materials for piles, reinforced concrete, steel, as well as wood are used. In Finland, the most common pile material is reinforced concrete.

The goal of the thesis was to familiarize with batting piling and related work steps, and to gather information about piling work at a bridge site. The work explored the already existing guidelines and to existing data for batting piling. The subject was also familiarized by going through reports, observing the progress of the site, and describing the stages of work. The thesis was done according to the progression of the various stages of work in the piling work.

The work provided a clear picture of the various working stages of steel batting and a short memory list of issues to be considered in the design and implementation of steel pipe piling. The memory list can be used as an aid in future projects in the design and implementation of piling work.

Keywords: steel batting pile, pile driving, instruction, piling, bridge construction, pile

SISÄLLYS

SANASTO 6
1 JOHDANTO 7
2 SILLAN GEOTEKNISET SUUNNITTELUPERUSTEET 8
2.1 Sillan pohjatutkimukset esimerkkikohteessa 9
2.2 Tukipaalut 10
2.3 Tukipaalun toiminta 11
2.4 PDA-mittaukset 11
2.5 Paalujen jatkaminen hitsaamalla 12
2.6 Betonointi Contractor-menetelmällä 12
3 TYÖTURVALLISUUS PAALUTUSTYÖKOHTEESSA 14
4 PAALUTUSTYÖ SAHANSAARENKADUN RAKENTAMISURAKASSA 15
4.1 Hankinnat 16
4.2 Laadunvarmistus 16
5 PAALUTUKSEN TYÖVAIHEET 18
5.1 Paalun lyönti 19
5.2 Raudoitus 20
5.3 Paalujen jatkaminen ja katkaisut 21
5.4 Betonointi 22
5.5 Sijaintipoikkeamat ja mittaus 24
5.6 PDA-mittaukset sahansaarenkadun työmaalla 25
5.7 Tärinämittaukset 26
6 HAASTEET JA ONGELMAT SAHANSAARENKADUN RAKENTAMISURAKASSA 27
6.1 Paalun sijaintipoikkeama 27
6.2 Lentoaseman vaikutus 27
7 YHTEENVETO 29
LÄHTEET 30
LIITTEET 32

SANASTO

CASE-menetelmä	yleisin käytettävä menetelmä paalun geoteknisen kestävyyden määrityksessä
Dynaaminen koekuormitus	Paalua lyömällä aikaansaatu iskuaalto mitataan geoteknisen kestävyyden, asennusaikaisten jännitysten sekä ehjyyden selvittämiseksi.
IT-betoni	itsetiivistyvä betoni
Järkäle	paalutuskoneen työkalu, jota käytetään paalun asentamiseen joko lyömällä tai pudottamalla
Lyöntipaalu	maata syrjäyttävä paalu, joka asennetaan maahan lyömällä iskevällä laitteella, kuten järkäleellä
PDA	pile driving analyzer, mittauslaitteisto dynaamisen koekuormituksen suorittamiseen
Prisma	optinen laite, johon etäisyys ja sijainti mitataan
RMX-estimaatti	CASE-menetelmän mukainen estimaatti paalun geoteknisen kestävyyden arviointiin
Takymetri	maanmittauksessa käytettävä mittalaite

1 JOHDANTO

Siltoja voidaan perustaa maan- ja kallionvaraisesti, rakennetulle täytteelle tai paalujen varaan. Etenkin pehmeikköalueilla usein paaluperustus on ainoa järkevä sillan perustamistapa. (1.) Perustamistavan valintaan vaikuttavat olennaisesti maaperän olosuhteet ja rakenteeseen vaikuttavat kuormitukset (2, s. 32).

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Kemin Sahansaarenkadun työmaalla suoritettua teräslyöntipaalutusta. Paalut lyödään teräsbetonisen jatkuvan ulokelaattasillan perustamista varten. Lisäksi työssä käsitellään paaluperustusten rakentamisen eri työvaiheita ja toteutusta. Opinnäytetyön tavoitteena on kuvata selkeästi paalutustyö ja sen jälkeisiä työvaiheita sillan perustuksien rakentamiseen liittyen. Tämän lisäksi tavoitteena on dokumentoida paalutustyö työnjohdon näkökulmasta, jotta raporttia voidaan hyödyntää myöhemmin vastaavanlaisissa projekteissa.

Sahansaarenkadun rakentamisen urakassa päätoteuttajana toimii GRK infra Oy ja urakan tilaajana on Kemin kaupunki. Rakentamisurakkaan sisältyy kadun, vesihuollon, valaistuksen, melusuojauksien ja viiden sillan rakentaminen rakennussuunnitelman mukaisesti kaikkine töineen, järjestelyineen ja materiaalihankintoineen. (3.)

Opinnäytetyö tehdään GRK infra Oy:n toimeksiannosta. Suomessa, Ruotsissa ja Virossa toimivan GRK-konsernin ydinosaamista on erityisesti vaativien infrarakennushankkeiden toteutus ja isojen hankkeiden projektinjohto. GRK:lla työskentelee lähes 900 ammattilaista ja liikevaihto oli vuonna 2020 lähes 390 miljoonaa euroa. (4.)

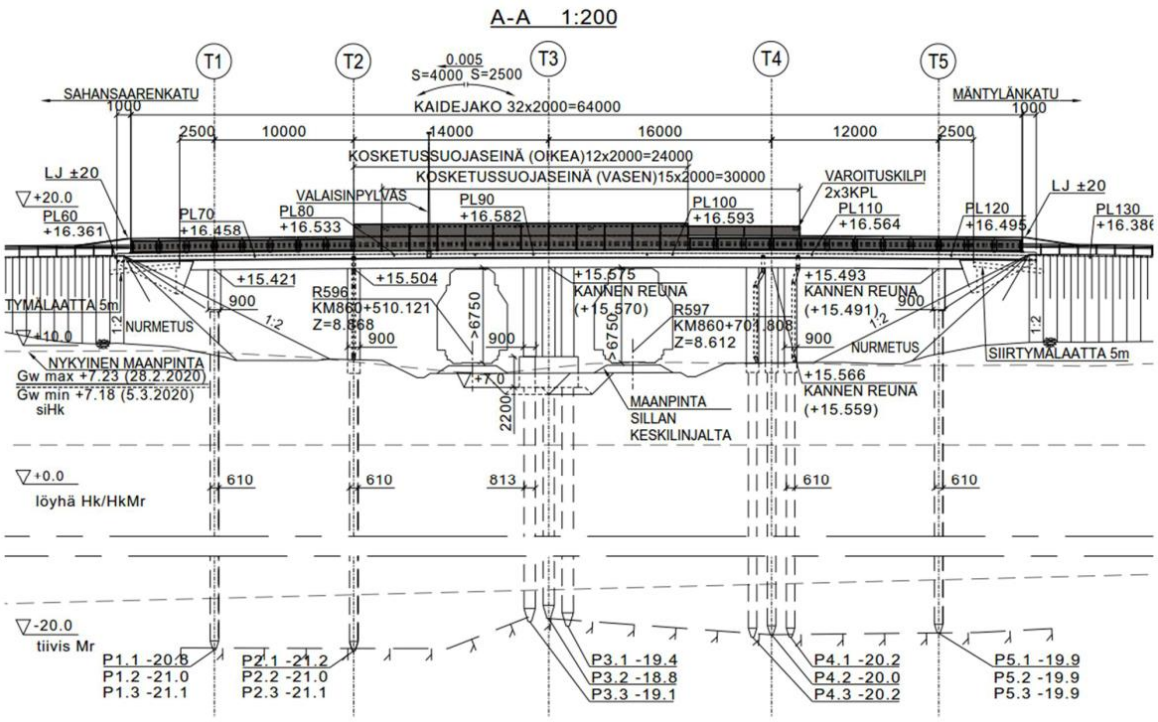
2 SILLAN GEOTEKNISET SUUNNITTELUPERUSTEET

Pohjarakenteiden suunnittelussa silloilla ja muilla taitorakenteilla suunnittelukäyttöikä on yleisesti 100 vuotta. Pohjarakenteet tulee suunnitella siten, että niiden varmuus murtumista vastaan on riittävä, muodonmuutokset pysyvät sallituissa rajoissa ja routa- ja eroosiosuojaus on riittävä sekä niin, ettei lähiympäristölle tule kohtuutonta haittaa. Sillan rakentamisesta aiheutuvat vaikutukset ympäristöön sekä pinta- ja pohjavesiin tulee olla lupaehtojen ja viranomaisten määräysten mukaisia.
Sillan pohjarakennussuunnittelun yhteydessä tutkitaan myös siltaan välittömästi liittyvien tulopenkereiden, muiden maarakenteiden, kuten keilojen ja etuluiskien, rakentamis- ja perustamistavat. (2, s. 19.)

Geologiset olosuhteet ovat avainasemassa valittaessa sillan perustamistapaa:

- Moreeni- ja kallioalueilla on mahdollista perustaa sillat ja penkereet moreenin tai kallion varaan.
- Kitkamaa-alueilla on yleensä mahdollista perustaa sillat ja kaikki penkereet maanvaraisina.
- Silttipehmeiköillä tarvitaan useimmiten paaluperustuksia. Penkereet voidaan mahdollisesti perustaa maanvaraisina.
- Savipehmeiköillä lähes kaikki sillat tulee perustaa paalujen varaan. Matalilla savikoilla myös massanvaihto voi tulla kyseeseen. Siltoihin liittyvät penkereet vaativat myös erityisiä perustamistoimenpiteitä.
- Suopehmeiköillä paalutus ja massanvaihto ovat siltojen ja penkereiden perustamisratkaisuja. (5, s. 15-16.)

Esimerkkinä käytetyssä kohteessa maaperä on pääosin silttistä hiekkaa/silttiä sekä löyhää hiekkaa ja hiekkamoreenia ennen kallion pintaa. Siltapaikan ympäristössä maanpinta on tasolla +8,5...9,5 ja kallion pinta noin tasossa -19,0...-21,0. Mitattu pohjavedenpinnan korkeus on noin +7,2. Kuvassa 1 on esitetty siltakohteen pituusleikkaus, jossa on tietoja esimerkiksi siltapaikan pohjaolosuhteista. (6.)



KUVA 1. Sillan pituusleikkaus (6)

2.1 Sillan pohjatutkimukset esimerkkikohteessa

Pohjatutkimuksilla tulee selvittää maapohjan kerrosrakenne, kallionpinnan sijainti sekä ominaisuudet ja pohjavesisuhteet. Pohjatutkimusten laajuuteen vaikuttavat siltapaikan maapohjan laatu, siltarakenne, ympäristö sekä myös lähistöllä sijaitsevat rakennukset ja rakenteet. Sillan pohjatutkimusluokka määräytyy suunniteltavan sillan vaativuuden ja siltapaikan pohjaolosuhteiden perusteella. (2, s. 11.)

Riittävän laajat pohjatutkimukset ovat rakennushankkeen alussa tärkeät, jotta perustamistapa, pohjarakennustyöt ja perustusrakenteet pystytään suunnittelemaan kustannustehokkaasti ja rakentaminen on turvallista. Pohjatutkimukset täydentävät sillansuunnittelua ja ne ovat tärkeässä osassa suunnitteluvaiheessa. Sillan pohjatutkimusten ohjelmoinnista, kuten tutkimusmenetelmien valinnasta ja määrästä sekä sijainnista päättää sillan geotekninen suunnittelija. (2, s. 11.) Taulukossa 1 on esitetty soveltuvia pohjatutkimusmenetelmiä erilaisiin selvitys tarpeisiin ja pohjaolosuhteisiin.

TAULUKKO 1. Pohjatutkimusmenetelmiä (2, s. 52)

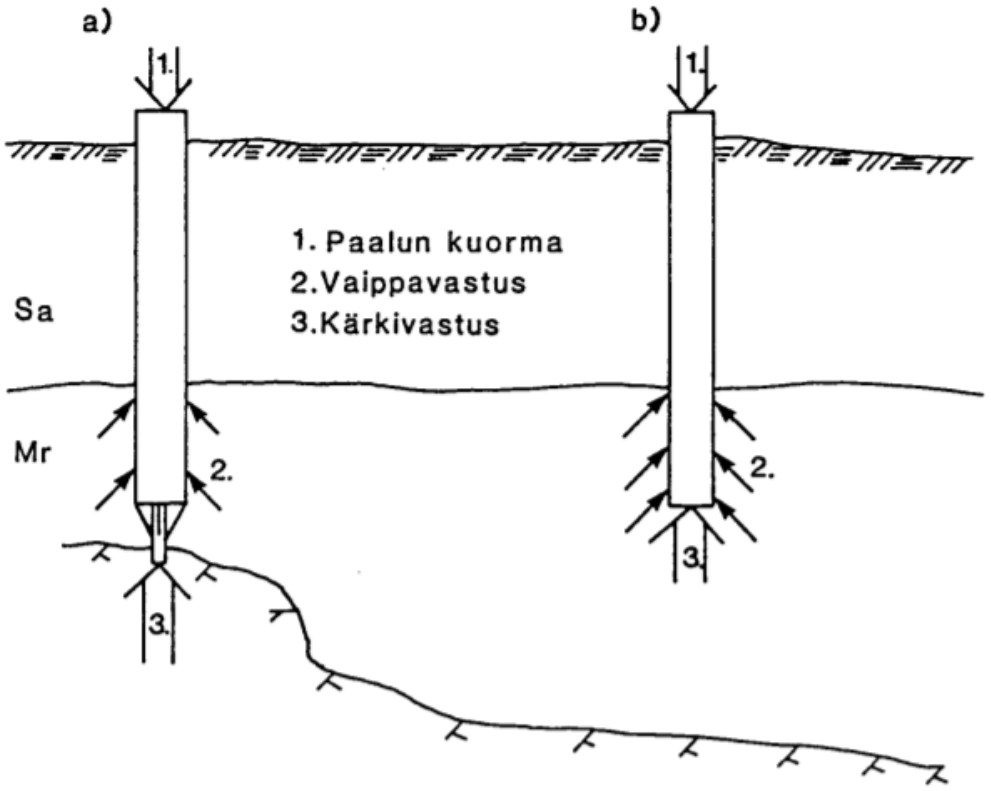
	Porakonekairaus	Koekuoppa	Heijarikairaus	Painokairaus	Puristinkairaus CPTU	Häiriintyneet näytteet, rakeisuus	Pohjavesiputki	Häiriintymättömät näytteet	Kallionäytetutkimus	Pehmeäseinäinen sellikoe	Siipikairaus	Ödometrikoe	Kolmiakselaalikoe	Kartiokoe
YLEISTIEDOT														
Maakerrosrajat, karkearakeiset			X	(x)										
Maakerrosrajat, hienorakeiset				(x)	X									
Maakerrosrajat, eloperäiset				(x)	X									
Maalajit						X		(x)						
Pohjavedenpinnan määriitys		(x)					X							
Routivuus						X								
MAANVARAINEN PERUSTAMINEN														
Karkearakeset, perustamistaso, maaparametrit			X	(x)		X	X						O	
Hienorakeiset, perustamistaso, maaparametrit				(x)	X		X	X			X	X	O	(x)
KALLIONVARAINEN PERUSTAMINEN														
Kallionpinnan sijainti	X	(x)												
Kallion laatu	(x)	(x)							O					
PAALUPERUSTAMINEN														
Teräsbetonitukipaalun pituuden määritys			X											
Kaivinpaalu	X		X											
Terästukipaalujen pituuden määritys	X		X											
Kitkapaalun kantavuus			X		X	X							O	
Paalujen lyötävyys	(x)		X											
Porapaalut	X													
Sivuvastus												X	O	
MAARAKENTEET														
Alusrakenteen stabiliteetti								X			X		O	(x)
Alusrakenteen painuma								X				X		
POHJAVEDEN HALLINTA														
Pohjaveden hallinta		X					X							
Vedenläpäisevyys						X				O				

2.2 Tukipaalut

Tukipaaluperustuksia käytettäessä pohjatutkimuksilla selvitetään kallionpinnan rakenne ja kallionpinnan korkeus. Kallionpinnan muotojen ja sijainnin selvitys on tärkeää erityisesti silloin, jos koheesiomaakerrokset jatkuvat kallionpintaan asti, kallionpinta on kalteva ja sen päällä oleva kitkamaakerros on ohut. Kallion päällä olevan moreenin tai maakerroksen ollessa niin tiivis ja paksu, että paaluille saadaan riittävä geotekninen kantavuus tukeutumatta kallioon, kairaukset voidaan päättää kovaan pohjakerrokseen. Kallionpinnan sijainnin selvittämiseen käytetään porakonekairausta. Maakerrosten tiiviyden ja paalujen tunkeutuvuuden selvittämiseksi käytetään heijarikairauksia. (7, s. 10.)

2.3 Tukipaalun toiminta

Suomessa käytettävä paalutyyppi on yleensä tukipaalu. Tukipaalut siirtävät pääosan kuormastaan kärjen välityksellä kallioon tai tiiviiseen pohjakerrokseen. Osa kuormasta voi siirtyä ympäröivään maakerrokseen vaippakitkan ansiosta. (7, s. 13.) Laskennallisesti sillan perustamisessa ei vaippakitkaa tukipaalussa oteta huomioon (8). Kuvassa 2 on esitetty tukipaalun toimintaperiaate.



KUVA 2. Tukipaalun toimintaperiaate a) Kallioon tukeutuvan tukipaalun toimintatapa ja b) maahan tukeutuvan tukipaalun toimintatapa (7, s. 13)

2.4 PDA-mittaukset

Paaluille voidaan tarvittaessa tehdä dynaaminen koekuormitus eli PDA-mittaus. Se on rakennuspaikalla suoritettava kantokyvyn määritysmenetelmä, joka on nopea tapa saada paalun kantavuus selville. Mittaustuloksista lasketaan paaluun maasta kohdistuva staattinen vastus vähentämällä kuormituksen nopeudesta johtuva dynaaminen osuus. Paalun dynaamisella koekuormituksella voidaan myös selvittää lyönninaikaiset veto- ja puristusjännitykset paalussa sekä iskun keskeisyys. Lisäksi mittaustuloksista pystytään arvioimaan paalun ehjyyttä. (9, s. 9.)

Venymä- ja kiihtyvyysanturit mittaavat lyöntilaitteen iskusta paaluun aiheutuvaa iskuaaltoa (9, s.12). Mittauksessa paalutuskoneen hydraulijärkäle tiputetaan suunnitelman mukaiselta korkeudelta vapaapudotuksena paalun päälle. Mittausta varten paaluihin porataan reiät venymä- ja kiihtyvyysantureita varten, jotka saa asentaa riittävän pätevyyden omaava asentaja. PDA-mittauksentulosten tulkintaa saa tehdä vain iskuaaltomittauksiin perehtynyt henkilö, jolla on riittävä kokemus iskuaaltomittauksista. Käytettävän laitteiston tulee olla käyttötarkoitukseen ja kohteeseen sopiva, lisäksi laitteiston tulee olla kunnossa ja kalibroitu valmistajan ohjeiden mukaisesti. (9, s. 10.)

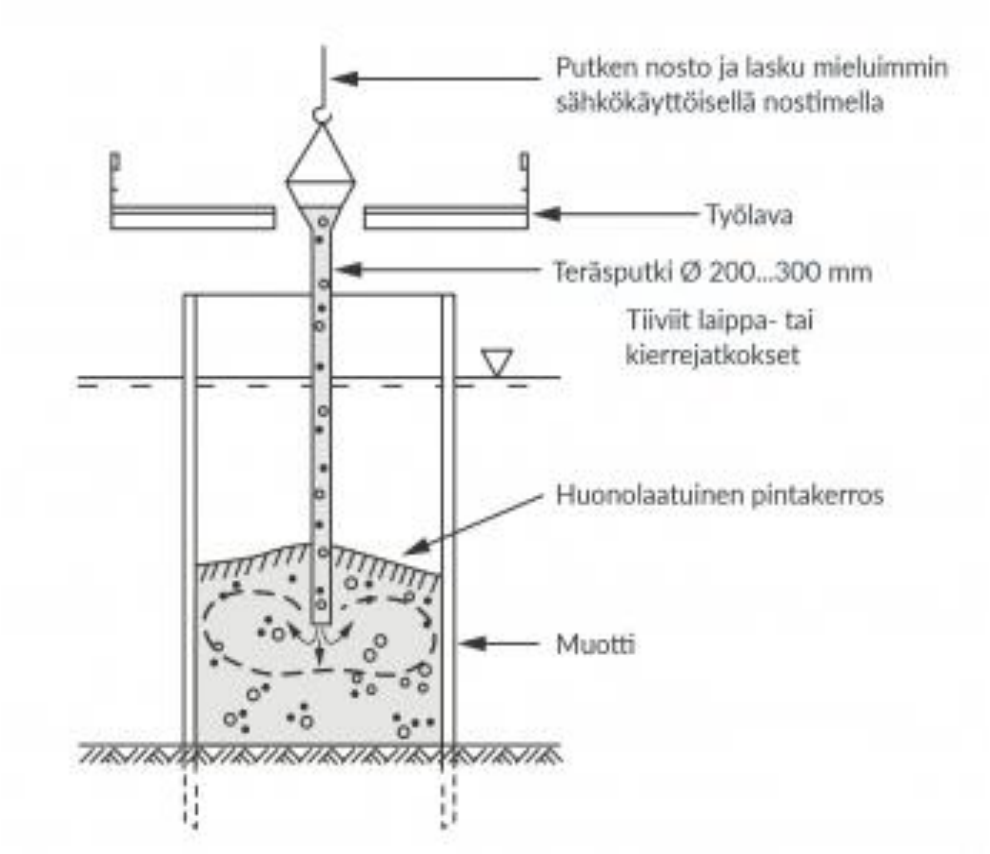
2.5 Paalujen jatkaminen hitsaamalla

Paalujen hitsattujen jatkosten on kestettävä asennusvaiheessa ja käytössä tulevat kuormitukset. Paalujen jatkoksia saavat hitsata ainoastaan standardin SFS-EN 287-1 pätevyyden omaavat henkilöt. Kaikki hitsit tulee tarkastaa silmämääräisesti. Paalut hitsataan hitsaussuunnitelman mukaisesti ja 10 % hitsatuista saumoista ultraäänikuvataan, jonka jälkeen paalun lyömistä voidaan jatkaa. Mikäli hitsiluokan raja-arvot ylittyvät, virheet korjataan ja saumat tarkastetaan uudelleen. Raja-arvojen ylityksen seurauksena tarkastetaan lisäksi kaksi ylimääräistä hitsiä (ns. sakkosääntö). (10, s. 6–7.)

Hitsausolosuhteisiin, kuten tuulelta tai sateelta suojautumiseen, täytyy kiinnittää huomiota laadukkaan ja kestävän hitsiliitoksen aikaansaamiseksi. Pakkasella ja vesisateella paalut joudutaan kuivattamaan nestekaasupolttimella kosteuden poistamiseksi, jotta hitsaus voidaan suorittaa. Tämä työvaihe hidastaa työtä merkittävästi. Paalujen päät tulee puhdistaa ja riittävä ilmarako täytyy jättää läpihitsautumisen varmistamiseksi, jotta hitsaustyö on laadukas. Myös tarvittaessa valaistukseen on kiinnitettävä huomiota. (10, s. 5.)

2.6 Betonointi Contractor-menetelmällä

Contractor-menetelmällä betonoitaessa on ideana, että tuore betoni valetaan aikaisemmin valetun betonin sisään ja vain ensimmäisenä valettu massa on kosketuksessa paalussa olevan veden kanssa. Valuputkea nostetaan hiljalleen ylöspäin siten, että putki on koko ajan massan sisällä. (11.) Valussa tehdään ylitäyttö, jolla varmistetaan, että paalu on täynnä puhdasta ja hyvälaatuista betonia. Kuvassa 3 on havainnekuva Contractor-menetelmästä.



KUVA 3. Contractor-menetelmä (11)

3 TYÖTURVALLISUUS PAALUTUSTYÖKOHTEESSA

Luvussa 3 käsitellyt paalutuksen työturvallisuusasiat perustuvat työmaan käytäntöihin ja työtapoihin, lähteeseen sekä omiin havaintoihin. Paalutustyö on erikoistyötä ja siihen liittyvissä työvaiheissa tulee työturvallisuuteen kiinnittää erityisen paljon huomiota, sillä työvaiheet sisältävät esimerkiksi paljon erilaisia nostoja ja käytettävät työkoneet ovat isoja sekä raskaita. Asenteella on iso merkitys työturvallisuuteen. Riskinottoa ei tule hyväksyä työturvallisuuden missään tilanteissa. Erityistä huomiota työturvallisuuteen tulee kiinnittää sellaisissa työvaiheissa, joissa työskennellään raskaiden laitteiden lähellä, paalukaivantojen sisäpuolella käsin tehtävissä työvaiheissa ja tarkastuksissa sekä paalujen ja raudoitteiden nostoja ja siirtoja suorittaessa. (12, s. 253.) Nostoissa tulee käyttää ainoastaan tyyppihyväksyttyjä ja asianmukaisia nostolaitteita, liinoja ja ketjuja, jotka ovat tarkastettu. Nostoja varten tulee olla laadittu nostotyösuunnitelma.

Paalutustyömaan turvallisuutta voidaan parantaa hyvällä ennakkosuunnittelulla, yhteistyöllä urakoitsijoiden välillä ja sillä, että kaikki työmaalla toimijat ovat perehdytetty työmaahan, työvaiheisiin ja riskeihin. Työmaalle tuleville koneille suoritetaan ennen työn aloittamista vastaanottotarkastus, jossa tarkastetaan, että kone on asianmukaisessa kunnossa ja siitä löytyy tarvittavat suojavarusteet sekä laitteet, kuten sammuttimet ja ensiaputarvikkeet. Maahan lyödyt paalut ovat tärkeää suojata väliaikaisesti putoamisvaaran takia, jottei kukaan esimerkiksi putoa suuren putkipaalun sisään. Työmailla suoritetaan usein myös tulitöitä, joita varten tarvitaan työmaalla tulityösuunnitelma. Tulityön suorittajilla tulee lisäksi olla voimassa oleva tulityökortti sekä työmaalla laadittava tulityölupa.

Paalutustyötä suoritettaessa lähellä junaraidetta tulee työntekijöillä olla voimassa oleva rataturvakortti. Myös lentoaseman sijainti lähellä paalujen lyönti kohdetta voi tuoda työn suorittamiseen omat haasteensa. Nostoissa tulee huomioida sallitut puomin nostokorkeudet ja tarvittaessa joudutaan pyytämään lentoestelupa puomin nostoihin Fintraficilta. Suuren paalutuskoneen ja nosturin puomin korkeus voi olla jopa 30 metriä.

4 PAALUTUSTYÖ SAHANSAARENKADUN RAKENTAMISURAKASSA

Luvussa 4 asioita kuvataan työmaalla tehtyjen havaintojen, lähteen sekä työtapojen perusteella. Paaluperustuksen rakentaminen siltakohteessa sisältää monta erilaista haastavaa vaihetta. Paaluperustusten rakentamisessa tulee ottaa huomioon esimerkiksi pohjaolosuhteet, ympäristö ja aikataulut. Lisäksi työtä voi vaikeuttaa lähistöllä sijaitseva lentokenttä, joka voi rajoittaa tarvittavia puomin nostoja valuvaiheessa ja raudoituksen asentamisessa. Myös sadekeli voi hidastaa töitä, jos paaluja joudutaan katkaisemaan tai jatkamaan.

Paaluperustusten rakentamisen tärkeimpiä työvaiheita ovat

- paalujen lyönti (Kuva 4.)
- paalujen katkaisut ja jatkokset
- raudoitusten kasaaminen ja asentaminen
- betonointityö.
- PDA-mittaus

KUVA 4. Paalun lyönti esimerkkikohteessa Sahansaarenkadun rakentamisurakassa

4.1 Hankinnat

Paalujen hankinnoissa tulee huomioida paaluilta vaaditut kantavuudet, pohjatutkimukset ja lisäksi työssä käytettävät paalutuskoneet. Paalujen toimintapa ja pituudet suunnitellaan pohjatutkimusten ja arvioidun maaperän ja paalun tavoitesyvyyden perusteella. Yleensä tilataan hieman paalun arvioitua paalupituutta pidemmät paalut, sillä on mahdollista, että paalut tunkeutuvat suunniteltua syvemmälle. Paalut tilataan yhteistyössä paalutusurakoitsijan kanssa. Työssä käytettävät paalut tulee tilata paalutuskoneen keilin sekä nostokyvyn mukaan. Nostokyvyssä huomioidaan paalun paino ja pituus.

Tilatulle materiaaleille tulee olla tehtynä ennakoidusti hyvät varastointialueet, minkä lisäksi täytyy huomioida kuorman purkamistapa. Mikäli työkohteessa on vähän tilaa paalujen ja muiden materiaalien, kuten terästen varastointia varten, voidaan toimituksia pyrkiä sovittamaan työn etenemisen mukaan. Materiaalien saapuessa työmaalle suoritetaan vastaanottotarkistus, jossa tarkastetaan, että materiaalit ovat suunnitelmien mukaisia ja ehjiä ja että materiaalitodistukset ovat mukana. Teräsputkipaalujen valmistajaa vaaditaan toimittamaan paalumateriaalistandardin SFS-EN 10204 tyypin 3.1 mukaiset ainestodistukset tilaajalle ennen kuin paalutustyö aloitetaan (13).

4.2 Laadunvarmistus

Ennen töiden aloittamista laaditaan eri työvaiheista työkohtainen työ- ja laatusuunnitelma. Työ- ja laatusuunnitelman avulla varaudutaan esimerkiksi työhön tarvittavien resurssien hankkimiseen sekä esitetään työn suoritustapa ja toleranssit. Laadukkaan rakentamisen toteutuksessa työmaalla työnjohdolla on tärkeä rooli varmistaa, että työvaiheet tehdään asianmukaisesti suunnitelmien mukaan. Töiden hyvällä ennakkosuunnittelulla voidaan saavuttaa haluttu lopputulos kustannustehokkaasti ja aikataulussa.

Paaluperustusten rakentamiseen kuuluu useita eri työvaiheita, joista vaaditaan dokumentteja laadunvarmistuksen ja työn kelpoisuuden osoittamiseksi. Erilaisista työn aikana tapahtuvista poikkeamista ja muutoksista tulee myös laatia poikkeamaraportit ja mahdolliset lisäselvitykset. Tässä urakassa paaluperustusten laadunvarmistusta varten laadittiin pöytäkirjoja sekä raportteja seuraavista työvaiheista:

- paalutuspöytäkirjat
- PDA-mittausraportti
- tarkemittauspöytäkirjat
- raudoitustarkastus pöytäkirja
- betoni massan kuormakirjat
- betonin koekappaleiden testitulokset
- materiaalitodistukset
- betonin ennakkokoetulokset.

5 PAALUTUKSEN TYÖVAIHEET

Luvuissa 5.1 – 5.7 kuvataan opinnäytetyön esimerkkikohteen paalutukseen liittyvät työvaiheet ja työn edetessä tehtyjä havaintoja. Paalutettavana oli GRK Infra Oy:n työmaakohde Kemissä.

Paalutustyössä noudatettiin seuraavia ohjeita ja määräyksiä:

- paalutusohje PO 2016 (RIL 254-2016)
- paalutustyöluokka PTL2.

Paalumateriaalina käytettiin SSAB:n valmistamia RR610- ja RR813-teräsputkipaaluja. Kaikkien paalujen seinämävahvuus oli 16,0 millimetriä ja paalujen teräslaaduksi oli valittu S355J2H. Lisäksi paalut olivat varustettuna kalliokärjellä. Kuvassa on 5 kuvattuna esimerkkikohteessa käytettyjä teräslyöntipaaluja. Paalutuskoneena toimi Junttan PM25. Paalun lyönnissä käytetty vasara oli HHK 9 tn.

KUVA 5. Teräslyöntipaaluja kalliokärjellä varustettuna

5.1 Paalun lyönti

Paalutustyötä varten laadittiin työvaihekohtainen työ- ja laatusuunnitelma sekä teräsputkipaalutus työsuunnitelma. Suunnitelmissa esitettiin seuraavat asiat:

- työhön varattavat resurssit
- edeltävät työvaiheet ja valmistelevat työt
- työturvallisuus- ja ympäristön suojelu
- työvaiheeseen kohdistuvat riskit ja niiden hallinta
- työnsuoritus
- sijaintivaatimukset
- materiaalit.

Ennen paalutustyön aloittamista työskentelyalueelle tehtiin paalutuskonetta varten kantavat ja tasaiset pohjat työn turvallista ja laadukasta suorittamista varten. Esimerkkikohteessa maaperä oli kantava, mutta maaperän ollessa hyvin pehmeää asiaan tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Paalujen kohdalta kaivettiin koekuoppa perusmaahan ja tarkastettiin, onko isoja kiviä paalun linjalla. Paalun uppoamista haittaavat kivet poistettiin. Myös maanalaisten putkijohtojen ja maakaapeleiden sijainti selvitettiin ennen paalutustyön aloittamista.

Mittamies kävi merkkaamassa paalun keskikohdan sijainnit, minkä jälkeen paalujen lyöminen aloitettiin. Paalujen sijaintia ja kaltevuutta tarkkailtiin koko paalujen lyönnin ajan vatupassilla ja mittakepeillä. Paalun sijainti ja kaltevuus toleranssit ylittyivät lyönnin aikana paalun törmätessä isoon kiveen tai lohkareeseen. Sijainti ja kaltevuus toleranssin ylittyessä, paalutustyö keskeytettiin ja otettiin yhteyttä valvojaan sekä suunnittelijaan, joiden kanssa päätettiin jatkotoimenpiteistä. Esimerkkikohteessa paalun kaltevuuden toleranssi ylitystä päätettiin korjata vetämällä paalua kaivinkoneella. Tätä varten lähistöllä on hyvä olla niin sanottu apukone saatavilla.

Kun kärkipaalu oli lyöty maahan, se täytettiin vedellä paalun upottamisen helpottamiseksi. Tämän jälkeen paaluun hitsattiin jatkos. Paalun jatkoskohta jätettiin sopivalle korkeudelle maanpinnasta jatkostyön helpottamiseksi.

Paaluihin merkattiin mitat 1 metrin välein, joka helpotti paalutustyön etenemisen seuraamista. Työvaiheita limitettiin siten, että kun yhdelle tuelle oli lyöty kärkipaalut, paalutuskone meni lyömään seuraavan tuen kärkipaaluja ja hitsarit menivät tekemään jatkokset edelliselle tuelle. Näin paalutuskoneen työskentely oli tehokasta.

Paalut varastoitiin ”laaduittain”, mikä helpotti oikean paalun tuomista työkohteeseen. Työkohteessa paalujen siirtämiset hoidettiin piikeillä varustetulla pyöräkoneella. Myös paalukuormat purettiin pyöräkoneella.

5.2 Raudoitus

Ennen raudoitusten asentamista paalujen sisään, suoritettiin raudoitustarkastus, jossa varmistettiin raudoituksen suunnitelman mukaisuus. Raudoitustarkastuksen yhteydessä täytettiin pöytäkirja, johon merkattiin havaitut puutteet raudoituksissa.

Raudoituksen nostossa paaluun käytettiin apuna hiab-autoa. Esimerkki kohteessa käytettiin pitkiä paaluja, minkä vuoksi raudoituskehikkoja jouduttiin jatkamaan hitsaamalla. Raudoitusten hitsauksessa tuli olla nimettynä hitsauskoordinaattori. Raudoite-elementti nostettiin paalun sisään ja tuettiin laittamalla harjateräksiä paalun ja raudoite-elementin väliin. Näin voitiin jatkaa raudoite-elementtiä liittämällä siihen seuraava elementti hitsaamalla. Määrämittaiseksi kasatut elementit asennettiin paaluun siten, että niistä jäävät tartuntateräkset näkyviin. Koska betonointi aiheuttaa painetta, täytyi raudoite-elementit hitsata kiinni paaluihin, jotta elementit eivät nouse valun aikana. Raudoitte-elementtien asennuksessa tarvittiin nosturiautonkuljettajan lisäksi hitsaustaitoinen ammattimies, joka ohjailee raudoite-elementtiä paalun sisälle. (14, s. 14.) Raudoite-elementit kasattiin lähellä nostopaikkaa, jotta vältyttiin turhilta kuljetuksilta. Kuvassa 6 on kuvattu raudoite-elementti, joka koostuu ”työvanteen” ympärille sidotuista pitkittäisteräksistä sekä välikkeistä, jotka muodostavat elementille suojaetäisyyden.

KUVA 6. Paaluraudoituksia kasattuna asennusalustalla

5.3 Paalujen jatkaminen ja katkaisut

Halkaisijaltaan 613,0 mm:n paalun, jonka seinämävahvuus oli 16,0 millimetriä, hitsaus kesti noin 1,5 tuntia kahdella hitsaajalla. Liitettävään paaluun hitsattiin kiinni juurituki, joka auttoi saamaan paalujen väliin ilmaraon hitsausta varten ja helpottamaan paalun sovittamista. Kuvassa 7 hitsareille on tehty hyvät ja tasaiset työtilat turvallisen työskentelyn takaamiseksi.

Paalujen katkaisu suunnitellusta korkeudesta suoritettiin vasta, kun suunnittelija oli antanut siihen luvan. Kun suunnittelija antoi luvan paalujen katkaisua varten, mittamies kävi merkitsemässä paaluun katkaisutason, minkä jälkeen paalut katkaistiin polttohitsaamalla. Katkaisun jälkeen paalujen päät suojattiin.

KUVA 7. Paalun jatkaminen hitsaamalla

5.4 Betonointi

Betonointi suoritettiin itse tiivistyvällä (IT) betonilla laaditun betonointisuunnitelman mukaisesti. Paalut jouduttiin valamaan vedenalaisesti, koska paalut täytettiin vedellä paalujen lyömisen helpottamiseksi. Paalujen betonoinnissa käytettiin vedenalaista betonointimenetelmää eli ns. Contractor-menetelmää. Valussa tehtiin ylitäyttö, jolla varmistettiin, että paalu on täynnä puhdasta ja hyvälaatuista betonia. Paalun betonoinnissa tuli ottaa myös huomioon paalusta poistuvan veden pois johtaminen, joka tehtiin tässä kohteessa uppopumpulla. Kuvassa 8 näkyy, miten betoni syrjäyttää ja poistaa paalun sisällä olevan veden. Valuputken tulisi olla vahva seinämäistä, että se ei taivu nostaessa mutkalle. Valuputken päähän voisi myös hitsata suojakehikon, joka estäisi valuputkea tarttumasta kiinni paalun raudoituksiin.

Valussa käytettiin apuna mobiilinosturia, jonka tarkoitus oli nostaa teräsputkesta valmistettu valuputki paaluun sisään. Valuputki kiinnitettiin betonipumppuauton valuletkuun lukolla, minkä jälkeen putki laskettiin paalun pohjalle ja aloitettiin massan syöttö. Paalun valussa oli myös apuna kuukulkija, jonka nostokorista jalkamies ohjaili valuputkea paalun sisään.

Laborantti suoritti massalle tarvittavat testit ja teki koekappaleet. Koekappaleita tässä kohteessa otettiin yhteensä 7 kappaletta. Laborantti valmisti koekappaleet työmaalla ja ne siirrettiin eristettyyn konttiin vesisäiliöön, josta ne toimitettiin testaukseen 28 vuorokauden iässä. Betonimassalle suoritettiin työmaalla leviämäkoe jokaisesta betonikuormasta.

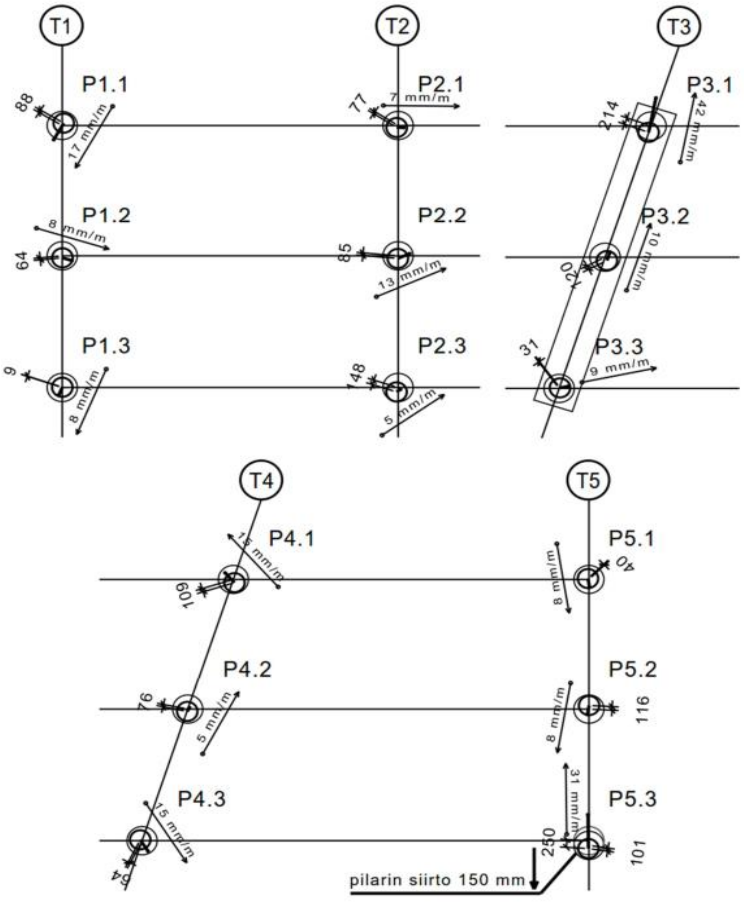
Betonimassaa tilatessa asemalle tuli ilmoittaa betonin toimitusajat ja massamäärä, betonin ominaisuudet sekä betonointinopeus m3/h, joka vaikuttaa tarvittavien betoniautojen määrään. Betonin toimittajat luovuttivat betonityönjohtajalle kuormakirjat toimitetuista kuormista.

KUVA 8. Paalun betonointi Contractor-menetelmällä

5.5 Sijaintipoikkeamat ja mittaus

Paalujen yläpään sijaintitoleranssi oli tässä esimerkkikohteessa +-100 mm. Yksittäiselle paalulle sallittiin esimerkkikohteessa kaltevuuspoikkeama 20 mm/m. Mittamies tarkasti paalujen sijainnit takymetrimittauksella. Paalujen lyönnin jälkeen kaikki paalut tarkemitattiin ja kaltevuuksista sekä sijainneista tehtiin pöytäkirja.

Paalujen tarkemittaus aloitettiin paalun sijainnin ja kaltevuuden takymetrimittauksella. Takymetrimittauksessa sijainti määritettiin vähintään 3 lähtöpisteen avulla. Jos paalun pää oli sopivalla korkeudella, pystyttiin mittaukset suorittamaan prismalla paalun päästä. Muussa tapauksessa mittaus suoritettiin pintamittauksena paalun kyljestä. Pintamittauksessa paalun kehältä mitattiin vähintään kolme pistettä, joiden avulla laskettiin paalun keskipiste. Paalun kaltevuus laskettiin kahden eri korkeudesta lasketun keskikohdan väliltä. Mittausten jälkeen tarkepöytäkirja lähetettiin suunnittelijalle, valvojalle sekä tilaajalle. Kuvassa 9 on esitetty tarkemittausten perusteella laadittu havainnekuva paalujen sijaintipoikkeamista.



KUVA 9. Toteutuneen paalutuksen paalutarkkeet (6)

5.6 PDA-mittaukset sahansaarenkadun työmaalla

Työmaalla mittaukset tehtiin Pile Driving Analyzer®, Model 8G-laitteistolla. Paaluihin kiinnitettiin 4 venymäanturia ja kaksi kiihtyvyysanturia. Anturit asennettiin vähintään 1,0 metrin etäisyydelle paalun päästä. Mittauksessa pudotettiin 9 tonnin järkälettä noin 5,0 metrin korkeudelta. Paalujen kantavuus arvioitiin käyttämällä CASE-menetelmää, RMX-estimaattia ja vaimennuskerrointa Jc 0,5. Kuvassa 10 on kuvattu antureiden asennusta.

KUVA 10. PDA-mittaus anturien asennus

5.7 Tärinämittaukset

Paalutusalueen lähistöllä sijaitseviin rakennuksiin tehtiin katselmukset ja asennettiin tärinämittarit alalla pätevöityneiden henkilöiden toimesta ennen paalutustyön aloittamista. Tärinän arvoja seurattiin jatkuvasti, jotta tärinän osalta sovitut raja-arvot eivät ylity.

Lisäksi meluavaan työhön kiinnitettiin huomiota, sillä meluavaa työtä ei saanut suorittaa klo 22.00–06.00 ilman erityistä lupaa. Meluavasta työstä täytyi tehdä kirjallinen ilmoitus melua tai tärinää aiheuttavasta toimenpiteistä kunnan ympäristösuojeluviranomaiselle. Jos toimitaan usean kunnan alueella, ilmoitus tehdään sen alueen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle, jonka alueella melua ja tärinää aiheutuu. Ilmoitus tulee tehdä viimeistään 30 vuorokautta ennen työn aloittamista. (15.)

Opinnäytetyön esimerkkikohteessa 1 tärinämittari asennettiin paalutuskohteen vieressä noin 60,0 metrin päässä sijaitsevaan kiinteistöön. Lähialueella ei sijainnut muita tärinäherkkiä rakenteita tai laitteita.

6 HAASTEET JA ONGELMAT SAHANSAARENKADUN RAKENTAMISURAKASSA

6.1 Paalun sijaintipoikkeama

Sillan mitoituksessa paaluille on huomioitu 100 mm:n epäkeskisyys sijainnissa esimerkkikohteessa. Kun paalujen sijainti toleranssit ylittyivät, suunnittelijan täytyi laskea, millä tavalla poikkeamat vaikuttavat kuormiin sekä paalujen ja pilareiden kestävyyteen. (6.) Tämä vaihe hidasti työn edistymistä ja aiheutti haasteita töiden aikatauluttamisen kannalta.

Poikkeamien vuoksi voidaan joutua tekemään muutoksia esimerkiksi tekemällä lisäraudoituksia. Vaikeissa tapauksissa on myös mahdollista, että joudutaan lyömään uusia paaluja. Pilareiden rakentaminen paalujen päälle edellyttää, että sijaintipoikkeama on maksimissaan 150 mm. On myös huomioitava kaltevuuden vaikutus, jotta paalun tartuntateräkset mahtuvat pilarin raudoituksen sisään. (6.)

Tässä kohteessa paalun sijaintipoikkeama ratkaistiin suunnittelijan toimesta siirtämällä paalun päällä olevaa pilaria 150 mm tukilinjan suunnassa. Poikkeamista aiheutuvat lisärasitukset pilareille ja paaluille säilyivät pienempinä kuin mitoituksessa lasketut epäkeskisyysrasitukset. Yhden pilarin vähäisellä siirrolla ei ollut merkittävää vaikutusta laattasillan kannen rasituksiin, joten rakenne kestää ilman lisäraudoituksia.

6.2 Lentoaseman vaikutus

Työmaan lähistöllä 15,0 km:n säteellä sijaitsi kaksi lentoasemaa. Lentoaseman läheinen sijainti rajoitti nostotoimintaa sekä puomin nostokorkeuksia. Näistä syistä johtuen täytyi tehdä lentoestelupahakemus Fintraficille.

Tässä esimerkkinä käytetyssä kohteessa puomin nostokorkeuteen asetettiin rajoitus +40,6 metriin merenpinnasta (N2000). Lupa haettiin paalujen betonoinnin suorittamista varten. Esterajoituskorkeuden ylitys hetkellisesti voitiin sallia erillisellä luvalla. Erillinen lupa pyydettiin lentoaseman len-

nonjohdolta vähintään 3 päivää ennen suunniteltua nostoa. Työskentelyssä piti myös varautua sovitun nostoluvan nopeaankin peruuntumiseen. Käytettävän nosturin puomin huippu täytyi varustaa lentoestevaloilla ja merkkilipuilla ilmailumääräyksen AGA M3-6 mukaisesti. (6.)

7 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin paaluperustusten rakentamiseen ja sen eri työvaiheisiin sillanrakennuskohteessa. Tavoitteena oli luoda yleisohje paaluperustusten rakentamisesta ja tuottaa lyhyt muistilista yleisimmistä asioista, jotka tulee huomioida esimerkkikohteen kaltaisissa olosuhteissa.

Tavoitteissa onnistuttiin mielestäni hyvin. Sisällön tuottaminen oli aika ongelmatonta, sillä työn aikana sai hyvän ja selkeän käsityksen eri työvaiheista ja niiden suorittamisesta. Lisäksi työnohjaajien avustuksella ja neuvoilla opinnäytetyöntyön suorittaminen onnistui hyvin.

Paaluperustusten rakentaminen kokonaisuudessaan on monivaiheinen projekti, jossa vaaditaan asiantuntemusta ja ammattitaitoa monessa eri työvaiheessa. Työnjohdon hyvällä ennakkosuunnittelulla ja työn seuraamisella on iso merkitys työn laadukkaaseen ja tehokkaaseen suorittamiseen. Opinnäytetyötä voidaan käyttää ohjeena ja muistilistana paaluperusten rakentamisessa ja työn suunnitteluvaiheessa.

Työn tuloksena saatiin paaluperustuksen toteuttamiseen ja suunnitteluun erillinen muistilista, jota voidaan hyödyntää tulevissa projekteissa. Muistilista pyrittiin pitämään sopivan lyhyenä käytännöllisyyden ja luettavuuden helpottamiseksi. Muistilistassa oli tavoitteena huomioida urakoitsijan kannalta tärkeimmät asiat työn suunnittelussa ja toteutuksessa. Lisäksi henkilökohtainen tietämys ja osaaminen paalutuskohteessa työskentelyssä lisääntyi paljon.

LÄHTEET

1. Erho, Jarmo 2021. TF00BN95-3001 Sillanrakennus 5 op. Opintojakson materiaalit syksyllä 2021. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
2. Tiehallinto 2007. Sillan geotekniset suunnitteluperusteet. Hakupäivä 14.10.2021. https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/sillan_geosuunn.pdf.
3. GRK 2021. Kohteet. Hakupäivä 25.10.2021. https://www.grk.fi/kohteet/sahansaarenkadun-rakentaminen-kemissa/.
4. GRK 2021. Konserni. Hakupäivä 25.10.2021. https://www.grk.fi/konserni/.
5. Tielaitos 1999. Siltojen pohjatutkimukset. Hakupäivä 3.10.2021. https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf2/silpo3200537.pdf.
6. GRK infra Oy 2021. Sahansaarenkadun rakentamisurakan suunnitelmat. Sisäinen lähde.
7. Tiehallinto 1999. Sillansuunnittelu. Teräsputkipaalut. 2.1 Yleisvaatimukset. Hakupäivä 14.9.2021. https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/terasputkipaalut1999.pdf.
8. Erho, Jarmo 2021. Opinnäytetyö. Henkilökohtainen sähköposti 17.10.2021. Vastaanottaja: Ville Määttä
9. Liikennevirasto 2016. Iskuaaltomittauksien tavoitteet. Hakupäivä 3.10.2021. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2016-31_paalujen_dynaaminen_web.pdf.
10. Rautaruukki Oyj 2008. Teräsputkipaalujen jatkaminen hitsaamalla. Hakupäivä 7.10.2021. https://docplayer.fi/23957807-Terasputkipaalujen-jatkaminen-hitsaamalla-paivitetty-05-2008.html.
11. Betonitieto 2021 Conractor-menetelmä. Hakupäivä 19.9.2021. https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/contractor-menetelma.html
12. RIL 254-2011 2011. Paalutusohje 2011. Paalutusohje. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
13. Rakennustieto 2021. InfraRYL. 13211.1.2. Teräsputkipaalut. Hakupäivä 28.10.2021. https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2021_1/13200.html#TL1331id1461865. (vaatii käyttäjälisenssin).
14. Tommi, Palm 2021. Rantamuuri rakenne merivesiolosuhteissa. Hämeenlinnan korkeakoulukeskus. Opinnäytetyö. Hakupäivä 19.9.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/464420/Rantamuurirakenne%20merivesiolosuhteissa.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

15. Suomen ympäristökeskus 2020. Ilmoitukset. Hakupäivä 11.10.2021. https://www.ympa-risto.fi/fi-fi/asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/luvat_ilmoitukset_ja_rekiste-rointi/ysln_kertaluonteisen_toiminnan_ilmoitusmenettely/Melua_tai_tarinaa_aiheuttava_ti-lapainen_toiminta.

TERÄSLYÖNTIPAALUTUKSEN SUUNNITTELUN JA TOTEUTUKSEN MUISTILISTA LIITE 1

Sisällys

Muistilistan alustus

1. Paalutuksen aloittavat työt
2. Työmaan olosuhteet
3. Paalun katkaisu ja jatkaminen
4. Raudoitukset
5. Betonointi
6. Paaluperustuksen dokumentointi ja laadunvarmistus

Muistilistan alustus

Tämän muistilistan tarkoitus on auttaa ottamaan huomioon, mitä asioita paaluperustuksen rakentamisessa tulee ottaa huomioon ja mitä työvaiheita se sisältää. Muistilista on laadittu työnjohtajia varten kohteisiin, missä suoritetaan teräsputkilyöntipaalutusta. Muistilistassa on pyritty huomioimaan tärkeimmät työvaiheet ja yleisimmät huomioitavat asiat.

1. Paalutuksen aloittavat työt

- Perehdytykset, tulityöluvat yms.
- Koneiden vastaanottotarkastukset
- Koekuopat paalujen kohdalla
- Ajantasaiset suunnitelmat
- Materiaalit
- Tarvittavat resurssit
- Tärinämittarit ja katselmoinnit (jos lähistöllä tärinäherkkiä rakenteita tai laitteita)
- Lentoestelupa nostojen suorittamista varten (tarvittaessa)
- Ratatyöluvat, jännitekatkot, (radan läheisyydessä työskennellessä)
- Ratatyövastaava, maadoitukset (radan läheisyydessä työskennellessä)
- Meluavan työn ilmoitus (30 päivää ennen aloitusta)
- Maanalaisten kaapeleiden, putkistojen yms. selvitys
- Pätevyydet (Hitsarit, betonointi)
- Paalutuskoneelle hyvät ja kantavat pohjat
- Nostosuunnitelmat
- Paalujen sijainnin merkkaus (takymetri)
- Työskentelyn suunnittelu
- Vesiauto tms. Paalun vedellä täyttämistä varten (tarvittaessa)
- Paalukuorman purkuun ja paalujen kuljettamiseen esim. pyöräkone

2. Työmaan olosuhteet

- Työmaasähköt

- Suojaukset
- Turvallisuus
- Aluesuunnitelma
- Valaistus
- Kulkutiet (riittävän loivat paalutuskonetta varten)
- Varastoalueet rautoja, paaluja yms. varten

3. Paalun katkaisu ja jatkaminen

- Paalujen katkaisukorkojen merkkaus
- Hitsaus suunnitelma
- Hitsareille turvalliset ja hyvät työtilat
- Tulityöluvat, tulityökortit, tulityösuunnitelma
- Hitsareiden pätevyydet (vaadittavat hitsausluokat)
- Hitsauskoordinaattori
- NDT-tarkastus (vaadittaessa)
- Työn mahdollistaminen huonolla säällä
- Suojavarusteet
- Alkusammuttimet
- Lupa suunnittelijalta/tilaajalta katkaisuun
- Apukone lähistöllä tarvittaessa

4. Raudoitukset

- Rautojen nostoa varten Esim. Hiab-auto
- Raudoitusten kasausta ja varastointia varten tilat
- Raudoitustarkastukset
- Ajantasaiset suunnitelmat
- Raudoittajat

5. Betonointi

- Betonin ennakkokokeet (tarvittaessa)
- Pumppu-auto
- Massan tilaus
- Betonointisuunnitelmat
- Betoniautolle ja pumppuautolle hyvät kantavat pohjat ja tilaa
- Betonityönjohtaja
- Tarvittavat työvälineet
- Valuputki nostokorvakoilla ja liittimellä (tarvittaessa)
- Mobiilinosturi valuputken nostoa varten (tarvittaessa)
- Nostotyösuunnitelmat
- Laborantti (koekappaleet, testit)
- Säilytys paikka (eristetty kontti) koekappaleille

- Riittävä miehistö
- Paaluista poistuvan veden pois johtamisen huomiointi (tarvittaessa)
- Kuukulkija tms. valuputken ohjaamista varten (tarvittaessa)

6. Dokumentointi ja laadun varmistus

- Raudoitustarkastukset
- PDA-mittaukset
- NDT-mittaukset
- Materiaalitodistukset
- Paalun sijaintien ja kaltevuuksien tarkemittaukset
- Betonin ennakkokokeet ja työmaakokeet
- Koekappaleiden testaus
- Betonointipöytäkirjat
- Tekniset työ- ja laatusuunnitelmat eri työvaiheista
- Betonin kuormakirjat
- Ohjeet ja määräykset