



PAALUTUSTYÖMAAN KUSTANNUSVERTAILU

Opinnäytetyö

Jarmo Malila

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Yhdyskuntatekniikka

Hyväksytty ____ . ____ . ____ _____

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU TEKNIikka KUOPIO

Koulutusohjelma

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tekijä

Jarmo Malila

Työn nimi

Paalutustyömaan kustannusvertailu

Työn laji

Insinööriyö

Päiväys

11.04.2010

Sivumäärä

30 + 11

Työn valvoja

Lehtori Raimo Lehtiniemi

Yrityksen yhdyshenkilö

Toimitusjohtaja Reijo Hakanen

Yritys

Suomen Teollisuus- ja Maarakennus Oy

Tiivistelmä

Tämän insinööriyön aiheena oli paalutustyömaan kustannusvertailu. Tavoitteena oli vertailla työmaan laskennassa arvioituja ja toteutuneita kustannuksia keskenään, sekä selvittää eroihin johtaneita syitä. Työn kohdetyömaana oli Suomen Teollisuus- ja Maarakennus Oy:n urakoima Ponsse Oyj:n Kouvolaan huoltokeskuksen paalutustyömaa.

Työn teoriaosa käsittelee paalutusta työmenetelmänä sekä sen suunnittelua. Työssä on esitelty perusasiat sekä teräsbetonipaaluista että paalutustyömaan käytännön toteutuksesta. Onnistunut paalutustyö pohjautuu perusteellisiin pohjatutkimuksiin ja niiden avulla tehtyihin suunnitelmiin. Paalutustyön vaatimukset ja niitä koskevat ohjeet on koottu Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry:n Lyöntipaalutusohjeeseen LPO-2005. Lisäksi teoriaosa sisältää kokonaisuuden urakan kustannuksista ja niiden laskennasta.

Kohdetyömaalla toteutuneet kustannukset nousivat arvioituja kustannuksia suuremmiksi katkenneiden paalujen vuoksi. Tarkempien arvioiden perusteeksi olisi tarvittu kattavampia pohjatutkimuksia.

Avainsanat

paalutus, kustannuslaskenta

Luottamuksellisuus

julkinen

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme

Construction Engineering

Author

Jarmo Malila

Title of Project

Cost Calculation of Pile Driving

Type of Project

Final Project

Date

April 11, 2010

Pages

30 + 11

Academic Supervisor

Mr Raimo Lehtiniemi

Company Supervisor

Mr Reijo Hakanen, CEO

Company

Suomen Teollisuus- ja Maarakennus Oy

Abstract

The subject of this thesis was a cost calculation of pile driving. The thesis was commissioned by Suomen Teollisuus- ja Maarakennus. The purpose of this thesis was to compare estimated and real costs concerning a pile driving construction site of Ponsse Oyj in Kouvola. Furthermore, the intention of this final was to research the reasons for the differences.

The research was carried out by analysing the existing calculations of the construction site. Both construction plans and construction site reports were used. The theoretical part of the thesis deals with the most essential theories of pile driving and its planning. The most essential requirements and regulations of pile driving is compiled in PLO-2005 by Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry. Additionally, the theoretical part introduces the concept of cost calculation.

The result showed that in this case the real costs exceeded the costs calculated in advance. The main reason for that were the broken piles during the construction work. A more comprehensive ground research would have been needed for a more accurate calculation.

Keywords

Pile driving, cost calculation

Confidentiality

public

ALKUSANAT

Työ tehtiin toimeksiantona Suomen Teollisuus- ja Maarakennus Oy:lle osana insinööriopintojani Savonia-ammattikorkeakoulun rakennustekniikan koulutusohjelmassa. Tahdon kiittää opinnäytetyöni toimeksiantajaa ja työnantajaani Suomen Teollisuus- ja Maarakennus Oy:n toimitusjohtajaa Reijo Hakasta mahdollisuudesta saattaa työ päätökseen töiden ohella. Myös työnohjaajana toiminut lehtori Raimo Lehtiniemi ansaitsee kiitokset tuesta prosessin aikana.

Kuopiossa 11.4.2010

Jarmo Malila

SISÄLTÖ

ALKUSANAT	4
JOHDANTO	6
1 PAALUTUS	7
1.1 Suunnittelu	7
1.2 Paalut	8
1.3 Paalutusluokat	9
1.3.1 Paalutusluokka III	9
1.3.2 Paalutusluokka II	10
1.3.3 Paalutusluokka I	10
1.4 Paalujen ulkoiset kuormitukset	11
1.5 Paalutuskalusto	13
1.6 Paalutustyö	14
1.7 Mittaus ja laadunvalvonta	20
1.7.1 Koepaalutus	20
1.7.2 Dynaamiset koekuormitukset	21
1.7.3 Staattiset koekuormitukset	21
2 KUSTANNUSLASKENTA	22
3 RAKENNUSKOHDE	24
3.1 Ponsse Oyj:n huoltopalvelukeskuksen pohjarakennustyöt	24
3.2 Urakkalaskenta	25
3.3 Paalutuspöytäkirja	26
4 ARVIOIDUT JA TOTEUTUNEET KUSTANNUKSET	27
5 TARKASTELU	28
LÄHTEET	29
LIITTEET	30
LIITE 1	Pylonin paaluluettelo
LIITE 2	Konekatoksen paaluluettelo
LIITE 3	Huoltorakennuksen paaluluettelo
LIITE 4	Paalutuspöytäkirja

JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee paalutustyön kustannuslaskentaa. Työn aihe on saatu toimeksiantona Suomen Teollisuus- ja Maarakennus Oy:ltä. Työn tavoitteena on vertailla Ponsse Oyj:n Kouvolan huoltokeskuksen paalutustöiden arvioituja ja toteutuneita kustannuksia. Saatuja tietoja voidaan käyttää hyväksi tulevien paalutustyömaiden kustannuksien arvioinnissa. Tiedot laskelmia varten saadaan suoraan toimeksiantajan urakkalaskelmista ja työmaan paalutuspöytäkirjasta.

Työn teoria koostuu kahdesta osasta. Ensimmäinen osa käsittelee paalutusta työmenetelmänä sekä sen suunnittelua, toinen kustannuslaskentaa osana paalutustyöurakkaa. Kolmannessa kappaleessa esitellään rakennuskohde ja neljännessä suoritetaan vertailu arvioitujen ja toteutuneiden kustannusten välillä.

1 PAALUTUS

Paalutus on yksi perustustapa. Paalutusta tarvitaan, jos rakennuksen tai rakenteen maapohjan olosuhteet ovat pehmeät ja jolloin rakenteiden on vaarana painua, siirtyä tai kiertyä. Paaluja käytetään nykyään yhä enemmän johtuen taajamien ja kaupunkialueiden leviämisestä myös heikkopohjaisille rakennusalueille. Paalut voivat olla puuta, terästä tai teräsbetonia. Tavanomaisimmin rakennusten pohjalla käytetään teräsbetonisia paaluja. Paaluperustus koostuu joko yksittäisestä paalusta tai useamman paalun ryhmästä. Yleisimmät koot ovat 250 x 250 mm ja 300 x 300 mm. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 41.)

1.1 Suunnittelu

Paaluperustuksen suunnittelu perustuu luotettavasti tehtyihin kuormituksen määrityksiin ja pohjatutkimuksiin. Paaluperustuksen suunnittelussa on myös huomioitava paalutusalueen ja ympäristön rakenteet ja olosuhteet, alueellinen vakavuus sekä ennakoitava paalutuksen vaikutukset vakavuuksiin ja lähirakenteisiin. Suunnittelu sisältää lisäksi oikean paalutyypin valinnan, riittävän tehokkaan paalutuskaluston valinnan, paalujen ja paaluryhmien geoteknisen kantavuuden mitoituksen, paalujen rakenteellisen kantavuuden sekä painumien, siirtymien ja kiertymien laskemisen. Paalun geotekninen kantavuus tarkoittaa mitoitusarvoa, joka on saatu huomioimalla varmuus maapohjan murtumista vastaan sekä sallitut painumat. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 41.)

Paalutustyö vaatii aina perusteelliset pohjatutkimukset. Pohjatutkimukset on ulotettava niin syväälle ja laajalle, että saadaan selville paalutuksen vaikutusalueelta kaikki maapohjan kerrostumat, joilla voi olla merkitystä rakenteisiin, paalujen asentamiseen ja kantavuuteen tai maapohjan muodonmuutosominaisuuksiin. Paalutuksen vaikutusalueeksi katsotaan vähintään paalun pituuden verran paalutuksen ulkopuolelle ulottuva alue. (Kujala 2005, 77.)

1.2 Paalut

Paalut jaetaan toimintaperiaatteen mukaan kolmeen ryhmään: tukipaaluihin, kitkapaaluihin ja koheesiopaaluihin. Näistä kolmesta käytetyin menetelmä on tukipaalut. Tukipaalut siirtävät siihen kohdistuvat kuormat kärjen välityksellä kallioon tai tiivisrakenteiseen maakerrokseen. Kallioon tai tiukkaan maaperään tukeutuvia tukipaaluja käytetään kun halutaan varmistaa paalulle asetetut kantavuusvaatimukset ja minimoida rakenteista johtuvat painumat. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 25.)

Kitkapaalun toiminta perustuu siihen, että pääosa kuormasta siirtyy kitkamaakerrokseen vaippapinnalla vaikuttavan kitkan välityksellä. Kitkamaan tiiveys ja kitkamaassa olevan paalun vaippapinta-ala vaikuttavatkin siten olennaisesti paalun kantavuuteen. Kitkapaaluja käytetään kun maaperän kova pohja on syvällä löyhien maakerrosten alla. Niiden lyöntitiukkuudessa tavoitellaan tukipaalujen tiukkuutta. Kitkapaalujen käyttö vaatii tarkempia pohjatutkimuksia kuin tukipaalujen käyttö, sillä kitkapaalujen käyttö on riskialttiimpaa. Kitkapaalujen kantavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat kantavaan maakerrokseen tunkeutuvien paalujen pituus, muoto ja lukumäärä sekä maakerroksen tiiveys. (Jääskeläinen 2005, 38, 53; Kujala 2005, 87.)

Koheesiopaalun kuormat siirtyvät koheesiomaakerrokseen vaippapinnalla syntyvän adheesion, eli saven ja paalun välisen tartunnan, välityksellä (Jääskeläinen 2005, 39, 53). Koheesiopaaluja varten tulee pohjatutkimuksilla määrittää yleisten pohjatutkimuksien lisäksi erityisesti pehmeiden maakerrosten lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 27). Koheesiopaaluina käytetään yleensä puupaaluja. Koheesiopaaluja käytetään kun rakenteissa voidaan sallia suuriakin painaumuksia, kuten työ- tai lyhytaikaisissa perustusrakenteissa. (Jääskeläinen 2005, 39; Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 43).

1.3 Paalutusluokat

Paalutus jaetaan kolmeen luokkaan, jotka on nimetty roomalaisin numeroin. Luokkaa määritettäessä on otettava huomioon rakennuskohteen luonne, pohjatutkimusten laajuus, paalujen laatu, paalutuskaluston, paalutustöiden suoritusten, valvonnan ja siihen liittyvien tarkastustoimenpiteiden laajuus ja laatu. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 43.)

1.3.1 Paalutusluokka III

Paalutusluokkaan III lasketaan kuuluvaksi paalutustyöt, joiden olosuhteet ja käytettävien paalujen valmistus ja asennus voidaan määritellä Suomen rakennusinsinöörien liiton RIL r.y.:n lyöntipaalutusohjeen (LPO-2005) mukaan seuraavasti:

- Paaluperustukset ja paalutustyö suunnitellaan niiden varaan tulevien rakenteiden toiminnan ja geoteknisten lähtötietojen pohjalta noudattaen lyöntipaalutusohjetta LPO-2005.
- Suunnitelma perustuu luotettaviin, mutta seikkaperäisyydeltään yleispiirteisiin pohjatutkimuksiin.
- Paaluina käytetään rakenne- ja laatuvaatimukset täyttäviä, valmistukseltaan luotettavasti valvottuja teräsbetonipaaluja, joiden betonin nimellislujuus on vähintään K45.
- Paalut jatketaan vaatimukset täyttävillä jäykkäjätköksillä.
- Paalutuskalusto on LPO-2005 mukainen ja paalun ohjaus hyvä. Myös järkäleen liikkuvan osan massan on oltava kyseisen ohjeen mukainen. Apupaalun käyttö on sallittu.
- Paalutustyö suoritetaan vastuunalaisen paalutustyönjohtajan valvonnan alaisena.
- Paalutustyössä pidetään pöytäkirjaa, jossa jokaisesta paalusta selviää vähintään paalun koko, pituus, painuma viimeisellä loppulyöntisarjalla, sekä paalun lopullinen sijainti sekä pysty- että vaakasuunnissa.

Paalutusluokkaa III käytetään vähemmän vaativissa kohteissa, kun paalutustyö ei täytä paalutusluokan II vaatimuksia. Yleensä paalutuskohde on tällöin pieni tai paaluille tulevat kuormat pieniä. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 44.)

1.3.2 Paalutusluokka II

Paalutusluokalle II asetetaan paalutusluokan III vaatimusten lisäksi Suomen rakennusinsinöörien liiton RIL r.y.:n lyöntipaalutusohjeen (2005) mukaan seuraavat vaatimukset:

- Suunnitelma perustuu riittävän yksityiskohtaisiin ja luotettaviin pohjatutkimuksiin.
- Apupaalun käyttö on sallittua vain tapauskohtaisen harkinnan perusteella ja suunnitelmassa esitettynä.
- Paalutustyö suoritetaan vastuunalaisen paalutustyönjohtajan valvonnan alaisena ja tarkoin LPO-2005:n ohjeiden mukaisesti johdettuna ja valvottuna.
- Paalutustyössä pidetään niin tarkkaa pöytäkirjaa, että sen perusteella voidaan jokaisesta paalusta arvioida paalun ehjänä säilymistä ja kantavuutta. Vaikeissa olosuhteissa pöytäkirjan pitää olla täydellinen paalun tavoitetason läheisyydessä tavattavan tiivisrakenteisen maakerroksen läpäisemisen osalta.
- Kallioon tai lohkaraiseen maahan ulottuvat paalut varustetaan kalliokärjillä.

1.3.3 Paalutusluokka I

Paalutusluokka I jaetaan paalujen sallitun geoteknisen kantavuuden ja paalutuksen tarkastustoimenpiteiden perusteella alaryhmiin IB ja IA. Paalutusluokalle IB asetetaan paalutusluokkien II ja III vaatimusten lisäksi Suomen rakennusinsinöörien liiton RIL r.y.:n lyöntipaalutusohjeen (2005) mukaan seuraavat vaatimukset:

- Paaluissa käytettävän betonin nimellislujuus on vähintään K50.

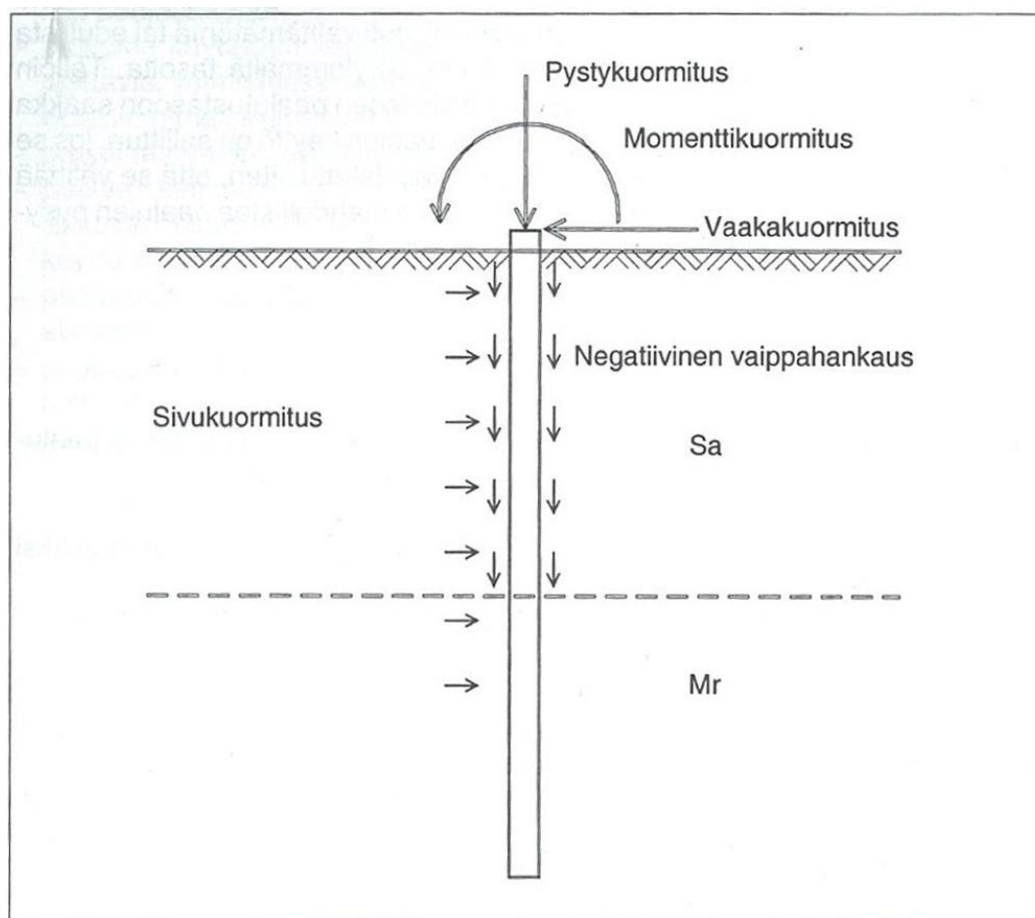
- Paalun pää on vahvistettu teräsvanteella.
- Paalutustyössä käytettävä järkäle on hydraulisesti toimiva.
- Apupaalun toimivuus varmistetaan PDA-mittauksella.
- Valvontatoimenpiteet ovat LPO-2005:n mukaisia.
- Jokaisen yksittäisen paalun, pienen paaluryhmän jokaisen paalun ja suuren paaluryhmän joka viidennen paalun lyönnistä pidetään täydellistä pöytäkirjaa.
- Loppulyöntiehto tarkistetaan PDA-mittauksilla.

Paalutusluokka IA:n käyttämiseksi asetetaan paalutusluokkaa IB suurempia ja kussakin tapauksessa osittain erikseen määräytyviä vaatimuksia. Paalutusluokka IA on teräsbetonipaalujen erityisluokka ja sen vaatimukset harkitaan kussakin tapauksessa erikseen. Paalutusluokan IA vastaavalta suunnittelijalta ja geotekniseltä suunnittelijalta vaaditaan AA-luokan pätevyys. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 44-46.)

1.4 Paalujen ulkoiset kuormitukset

Paaluun kohdistuu erilaisia ulkoisia kuormituksia. Paalun mitoituksessa tulee huomioida pystykuormitus, vaakakuormitus, momenttikuormitus, sivukuormitus ja negatiivinen vaippahankaus. Paaluun kohdistuvat ulkoiset kuormitukset on esitelty kuvassa 1. Ensisijaisesti teräsbetonipaalut on suunniteltava kestämään paalun suuntaista pystykuormitusta. Pysyvää pystykuormitusta voidaan siirtää ainoastaan karkearakenteisiin maakerroksiin, moreenikerroksiin tai kalliolle kun taas hetkellistä kuormitusta myös muihin maakerroksiin. Vaaka- ja momenttikuormituksia ei voida siirtää itse paaluun kuin vähäisissä määrin, sillä se aiheuttaa paalulle taivutusrasituksia, joita paalu kestää huonosti. Momenttikuormitus aiheutuu yleensä maan paaluun aiheuttamasta sivukuormituksesta, paalun käyrydestä tai paalun yläpäähän vaakakuormituksesta. Sivukuormitusta esiintyy, kun huonosta paalutusalueen vakavuudesta tai paalutuksen aiheuttamista maan siirtymistä johtuen joudutaan käyttämään hyväksi paalun sivukapasiteettia tai momenttikapasiteettia. Näiden taivutusrasitusta aiheuttavat tekijät on otettava huomioon paalun rakenteellisessa mitoituksessa. Paalua kuormittava negatiivinen vaippahankaus

syntyy kun maa paalun ympärillä painuu itse paalua enemmän täytemaan, pohjaveden alenemisen tai itse paalutustyön takia. Paalun ympärillä oleva maa tarttuu itse paaluihin eikä painu muun ympäröivän maan kanssa vapaasti, jolloin paaluun kohdistuu ylimääräistä kuormitusta. Näin ollen paalut eivät voi ottaa enää suunniteltua täyttä kuormitusta. Tarkat laskentaohjeet näitä tilanteita varten on esitetty LPO:ssa. (Jääskeläinen 2005, 55; Kujala 2005, 80-83; Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 47.)



Kuva 1. Ulkoiset kuormitukset

Paaluilla on olemassa nurjahdusvaara riittävän sivutuen puuttuessa. Tämä riski on suurimmillaan pehmeiköillä lyötäessä paaluja joiden halkaisijan pinta-ala on pieni. Tällöin paalujen sallittua kuormaa on vähennettävä. Riittämättömästi tuettuja paaluja ovat paalut, jotka ovat kokonaan tai osittain ilmassa, vedessä tai ympäröivän maan leikkauslujuus on 8 kN/m^2 . (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 85-86.)

1.5 Paalutuskalusto

Nykyaikaiset lyöntipaalutuskoneet ovat tehty joko itsessään valmiiksi paalutuskoneiksi tai muuttamalla normaalia telakaivinkonetta paalutuksen erityisvaatimukset huomioiden. Jokaiseen paalutustyöhön löytyy sopivan kokoinen paalutuskalusto. Paalutuskone koostuu yleensä telakaivinkoneesta ja hydraulisesta tai mekaanisesta järkäleestä. Lisäksi käytetään iskutyynyä sekä mahdollisesti apupaalua. Hydrauliset järkäleet voivat olla joko vapaasti putoavia tai kiihdytettyjä. Vapaasti putoavassa järkäleessä on tavallisesti laitteesta johtuvaa kitkaa, kiihdytetyssä järkäleessä kitkan aiheuttamaa vastusta poistetaan hydraulisesti kiihdyttämällä järkälettä. Yleisin paalutuskoneissa käytetty järkäle on pudotusjärkäle. (Jääskeläinen 2005, 57-60.)

Järkäleen iskupituus vaihtelee 20 cm:stä 45 cm:iin. Iskupituutta säädellään iskun aikana siten, että paalu ei painu enempää kuin 100-150 mm lyöntiä kohti. Suuremmilla painumilla paalun kärki on vaarassa vaurioitua siihen syntyvien vetojännitysten vuoksi. Teräsbetonipaaluilla järkäleen massan tulee olla vähintään 2 000 kg, niin että se on vähintään puolet paalun, iskutyynyn ja mahdollisen apupaalun massasta. Puupaalun massan tulee olla vähintään 1 000 kg. Teräspaaluille on kullekin omat ohjeensa painosta. Teräksestä valmistettua apupaalua on käytettävä jos paalu joudutaan lyömään maan sisään, sillä paalutuskone ei voi lyödä johteittensa alapuolelle. Apupaalu on välikappale, joka muuttaa paaluun vaikuttavaa iskuaaltoa ja alentaa siten paalutusluokkaa. (Jääskeläinen 2005, 57-60; Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 81.)

Paalutuskoneen rakenteelta vaaditaan, että paalun tunkeutumista maahan voidaan seurata, asennus voidaan halutessa keskeyttää ja lyönnin voimakkuutta voidaan säätää. Lisäksi koneen tulee täyttää työturvallisuusvaatimukset. Paalunjohteet tulee voida asentaa riittävän tukevasti tarvittavaan kaltevuuteen. (Jääskeläinen 2005, 57-60; Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 100-101.) Paalutuskoneen johteiden on suunnattava järkäleen isku keskeisesti paalun pituusakselin suuntaisesti (Jääskeläinen 2005, 58). Paalutuskoneen tulee olla vakaa ja helposti liikuteltavissa myös pehmeällä alustalla ja lähellä rakennuksia (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 100).

Iskutyynyn tarkoituksena on keskittää ja välittää järkäleestä tuleva voima keskeisesti paaluun sekä estää paalun pään rikkoutuminen. Iskutyyny koostuu teräsosasta sekä siihen kiinnitetyistä pehmikkeistä. Alapuolinen pehmike sijaitsee välittömästi paalua vasten, yläpuoliseen pehmikkeeseen osuu järkäleen liikkuva osa. Alapuolinen iskutyyny voi olla esimerkiksi koivua tai tammea, yläpuolinen varsinaisen jouston antava pehmike muovia tai azobe-puuta. Iskusuojan kunto tulee tarkastaa ennen jokaista paalua ja tarvittaessa korvattava rikkoutunut uudella. (Jääskeläinen 2005, 59; Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 101.)

1.6 Paalutustyö

Ennen paalutustöiden alkua on syytä suorittaa katselmuksia, koska paalutustöistä syntyy aina tärinää, joka voi olla haitallista viereisille rakenteille. Selvitysalue ulotetaan yleensä 30-50 metrin etäisyydelle paalutuksesta. Lisäksi on huomioitava, että paalutuksesta aiheutuu ympäristöön merkittävää meluhaittaa. Melun pienentämiseksi voidaan järkäle varustaa melusuojuksella. Tämä on suositeltavaa etenkin asutuskeskusten läheisyydessä. Melun ylittäessä 80 dB, on käytettävä kuulosuojaimia ja estettävä ulkopuolisten pääsy melualueelle. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 122-123.)

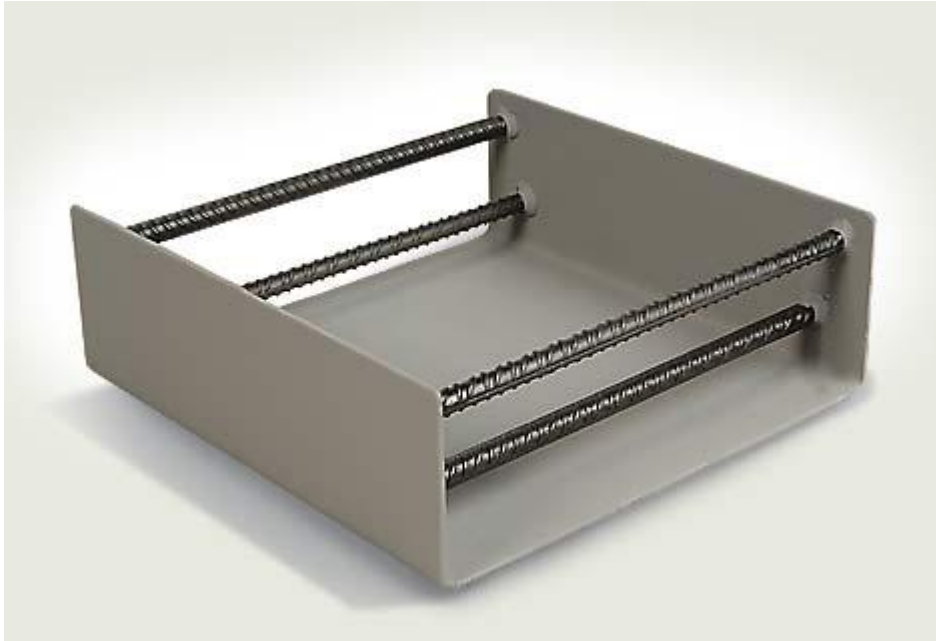
Normaali paalutus syrjäyttää myös maata, mikä on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa ja mietittävä tarvittavat toimenpiteet. Maan syrjäytymistä voidaan estää muun muassa kaivamalla maata paalujen kohdalta tai käyttämällä pieniläpimittaisia teräspaaluja, joiden geotekninen kantavuus on suuri suhteessa paalun poikkileikkausalaan. Eniten syrjäytymisestä aiheutuu haittaa savi- ja silttimaalajeissa. Siirtymien suuntaan ja suuruuteen vaikuttaa paalutusjärjestys. Maansyrjäytyminen painottuu normaalisti vakavuudeltaan heikompaan suuntaan. Esimerkiksi rakennusten läheisyydessä paalutus aloitetaan rakennusta lähimpänä olevista paaluista. Syrjäytymisen lisäksi on paalutusta suunniteltaessa tarkastettava mahdollisten kaapeleiden sekä putkitusten sijainnit. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 72.)

Kun paalut tuodaan työmaalle, tarkastetaan, että ne ovat oikean tyyppisiä ja että paaluissa on sovitut maakärjet, jatkokset tai kalliokärjet. Teräsbetonipaaluista tarkistetaan, että nimellislujusvaatimus täyttyy. (Jääskeläinen 2005, 61; Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 30.)

Ensimmäiset paalut pyritään lyömään eri puolille kenttää ja niiden lyönnin tarkoituksena on varmistaa, että paalutyyppi ja paalutusmenetelmä ovat kohteeseen sopivat (Jääskeläinen 2005, 61). Kun tukipaalun kärki on saavuttanut lähes suunnitellun määräsyyvyden, eli kiinteän pohjamuodostuman, ja paalun painuma selvästi vähenee, aloitetaan loppulyönnit. Kitka- ja koheesiopaaluilla loppulyönnit aloitetaan, kun tavoitetaso saavutetaan. Tukipaalun loppulyönnit sisältävät olosuhteista riippuen 3-5 kymmenen lyönnin sarjaa. Sarjoja lyödään enemmän, jos paalun painuminen pienenee hitaasti, ja vähemmän silloin, kun painuminen pienenee nopeasti. Loppulyöntien tarkoitus on tiivistää alapuolella olevaa maata, ja lyömällä monta sarjaa varmistetaan tilanteen pysyvyydestä. Kalliokärjellisten paalujen loppulyöntien tarkoitus on lähinnä upottaa kärki paikoilleen kallioon. (Jääskeläinen 2005, 51; Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 81.)

Lyönnin jälkeen paalut mitataan. Niistä mitataan paalun pään korko, josta laskemalla saadaan muun muassa tavoiteltu tunkeutumissyvyys ja katkaisutasot. Koko paalutustyön ajan jo asennettuja paaluja seurataan mittaamalla vaakasiirtymää sekä nousua ja painumaa. Jos vaakasiirtymä ylittää 30 mm, on paalutustyöt keskeytettävä ja otettava yhteyttä geotekniseen suunnittelijaan tai asiantuntijavalvojaan. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 108.)

Teräsbetonipaalujen kärjet suojataan erilaisin vahvikkein, koska pelkkä betoninen kärki ei kestäisi maahan lyöntiä. Paaluissa käytetään maakärkeä (kuva 2), joka on metallinen teräslaatikko. Paalut varustetaan tarvittavilla kärjillä jo valuvaiheessa. Maakärkeä käytetään, kun paalun kärki ei tukeudu kallioon eikä maaperä ole kivistä tai lohkareista. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 35-37.)



Kuva 2. Maakärki (Emeca Oy)

Maaperän ollessa kivinen tai lohkareinen tai paalun kärjen tukeutuessa kallioon, paalun kärki varustetaan kalliokärjellä (kuva 3). Kalliokärki on mitoitettu siten, että se kestää kuormaa yhtä paljon kuin itse paalu. Paalun betonin nimellislujuus on oltava K50 kun se varustetaan kalliokärjellä. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 35-37). Kalliokärki voidaan asentaa myös työmaalla jälkiasennuksena (kuva 4). (Emeca Oy, 2010.)



Kuva 3. Kalliokärki (Emeca Oy)



Kuva 4. Jälkiasennettava kalliokärki (Emeca Oy)

Paalun pään murtumisen estämiseksi suojataan se teräsvanteella (kuva 5) tai vastaavalla. Paalutusluokissa II ja III paalun pään vahvistamisesta päättää kohteen geotekninen suunnittelija. Paalutusluokassa I suojaukseen käytetään vähintään $4 \times 75 \text{ mm}^2$:n teräsvannetta. Vanteen yläreuna tulee sijoittaa n. 10 mm paalun pään reunaviisteen alapuolelle. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 37.)



Kuva 5. Teräsvanne (Emeca Oy)

Paalun jatkoksina voidaan käyttää ainoastaan niin sanottuja jäykkäjatkoksia, joka tarkoittaa sitä, että jatkoksen on kestävä lähes samat lyönti, veto, taivutus ja nurjahdusvoimat kuin itse paalunkin. Jäykkäjatkoksen vaikutus on oltava alle 10% taivutuskestävyyteen sekä jäykkyyteen. Kuvassa 6 on esitelty jäykkäjatkoksen toinen puolikas. (Jääskeläinen 2005, 43; Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 37.)



Kuva 6. Jäykkäjatkos (Emeca Oy)

Lyöntilevy suojaa paalun jatkososaa. Metallivalusta tai muoviseoksesta valmistettu levy asennetaan alapaalussa olevan jatkoksen päälle, jolloin se suojaa jatkoksen lukkokarat lyönnin iskuilta. (Leimet Oy, 2010)



Kuva 7. Lyöntilevy (Emeca Oy)

1.7 Mittaus ja laadunvalvonta

Paalutustyön toteuttaja laatii paalutustyön työ- ja laatusuunnitelman, johon lyöntipaalutuksen laadunvalvonta perustuu. Suunnitelma sisältää keinot pohjarakennesuunnitelman mukaisen laadun saavuttamiseksi sekä mittaustavat ja -määrät. Paalutustyönjohtajan apuna paalutustyössä tulee olla ammattitaitoinen mittaushenkilö. Paalujen varastointiin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Jos työmaalle tulee vielä kovettumisvaiheessa olevia paaluja, ei niitä saa asentaa ennen vaaditun lujuuden saavuttamista. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 107-108.)

Laadun valvonnalla tulee varmistaa, että paalut ovat kelvollisia. Niissä ei saa olla silmin havaittavia käyristymiä tai vinoutumia. Paalussa ei saa olla yli 0,2 mm leveää poikittaista halkeamaa, jonka pituus on yli puolet paalun poikkileikkauksen piiristä. Pituussuuntainen halkeama ei saa olla yli 0,2 mm leveä ja yli 200 mm pitkä. Edellisiä lyhyemmät halkeamat eivät saa olla yli 0,5 mm leveitä ja ne on korjattava ennen paalun asentamista. Korjausmassojen tulee olla tarkoitukseen sopivia sekä SILKO-hyväksytyjä. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 107-108.)

Asennettuja paaluja mitataan päivittäin koko paalutustyön ajan. Paalutustyö tulee keskeyttää mikäli asennettujen paalujen vaakasiirtymät ylittyvät 30 mm:llä. Geotekninen kantavuus varmistetaan loppulyönneillä, jos paalut painuvat tai nousevat yli 10 mm. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 108.)

1.7.1 Koepaalutus

Paalujen soveltuvuus kohteeseen varmistetaan koepaalutuksella. Samalla voidaan testata saavutetaanko käytettävissä olevalla kalustolla ja asennuksen loppuehdoilla haluttu geotekninen kantavuus. Normaalisti koepaaluja lyödään paalutusalueen jokaiseen toisistaan selvästi pohjaolosuhteilta eroavaan osaan. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 109.)

1.7.2 Dynaamiset koekuormitukset

Dynaamisella koekuormituksella (PDA-mittaus) määritetään paalun geotekninen kantokyky ja lyönnin kokonaistehokkuus. Lisäksi PDA-mittauksella voidaan arvioida paaluun kohdistuneita jännityksiä ja paalun ehjyyttä, jotka ovat aiheutuneet lyönneistä. PDA-mittauksessa tutkittavan paalun yläpäähän kiinnitetään anturit, jotka ovat yhteydessä mittalaitteisiin ja tietokoneeseen. Kun paalua lyödään, saadaan tieto paalun yläpäähän vaikuttavasta voimasta ja partikkelinopeudesta. Laskelmien avulla heijastusaallosta voidaan nähdä paalun alapäähän vaikuttava murtovoima, paalun alapään murtuminen sekä paalun varressa mahdollisesti olevat halkeamat. (Jääskeläinen 2005, 51; Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 110.)

1.7.3 Staattiset koekuormitukset

Staattinen koekuormitus tehdään paaluille, jotka ovat geoteknisen toiminnan kannalta rakennuspaikan epäedullisimmissa pohjaolosuhteissa. Koekuormituspaalujen kuormitusta yleensä jatketaan niin pitkään, että tapahtuu maan geotekninen murtuminen tai paalun rakenteellinen murtuma. Koekuormituspaalujen on vastattava kohteeseen suunniteltuja paaluja sekä materiaalin että paalutusmenetelmän osalta. Perustuspaalujen koekuormitukset tehdään kuitenkin sellaisella kuormalla joka vastaa käyttötilan varmuusluvulla kerrottua maksimikuormitusta. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 2005, 113.)

2 KUSTANNUSLASKENTA

Kustannuslaskennalla on merkittävä osa paalutustyömaan onnistumisessa. Tarkoilla laskelmilla mahdollistetaan työmaan taloudellinen tuotto ja vältetään ikäviltä yllätyksiltä työmaan edetessä. Kustannuslaskentaa suorittavilta vaaditaan hyvää laskennan perusteiden tuntemusta, jotta näennäisen konkreettiseen tosiasiatietoon ei luotettaisi aivan sokeasti. (Pellinen 2006, 11)

Urakkalaskentaa käytetään silloin kun kohteena on suuri yksittäishanke, jonka toimitusaika voi olla useita vuosia. Urakkaa varten perustetaan oma tili, johon kohdistetaan urakkaa koskevat menot ja tulot. Pitkäkestoisia urakoita osatulotetaan ja eri suoritusvaiheet jaotellaan osiin. Osatulotus on tärkeää, koska sillä tavoin työhön kohdistuneita kustannuksia saadaan katettua sen etenemisen mukaan pois.

Urakkatiliä hyödynnetään arvioidessa urakan kokonaistulosta. (Pellinen 2006, 146-147)

Urakkatarjouksien tekeminen edellyttää että kustannussuunnittelu on toteutettu perusteellisesti. Hinnoittelu tehdään määrälaskennan pohjalta. Urakkatarjouksen kohteesta laaditaan määräluettelo, joka voi koostua kymmenistä pääryhmistä ja alaryhmistä. Suurimmista hankinnoista, jotka voivat olla joko alihankintana tehtäviä töitä tai yksittäisiä materiaalihankintoja, tehdään tarjouspyyntö. Tarjouspyynnöt lähetetään yleensä usealle eri laitetoimittajalle tai alihankkijalle, jotta saadaan mahdollisimman kilpailukykyinen ja kokonaisedullinen hinta. Tarjouspyyntöjen kohteena voivat olla esimerkiksi kaivot, pumppaamot, eristykset tai jokin rakenne töineen. (Pellinen 2006, 148.)

Itse hinnoittelun tekee hinnoittelija joka perustaa laskennan tarjouspyyntöihin, kokemukseen, hinnastoihin, sopimuksiin sekä tiedossa oleviin yksikkö- ja tuntihintoihin. Pelkän hinnoittelun lisäksi arvioidaan työkohteen mahdolliset riskit, työtekniset sekä toteuttamisvaihtoehdot ja silloisen kilpailutilanteen arvio. Nämä arviot tulisi tehdä yhdessä toimitusjohtajan, työpäällikön, määrälaskijan ja vastaavan mestarin kanssa. Monen eri henkilön erityisosaamista hyödyntäen saatu lopputulos on hinnaltaan kilpailukykyinen ja kannattava. (Pellinen 2006, 148.)

Kustannukset jaetaan yleisesti muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin. Kustannuslaskennassa kustannusten riippuvuus toiminta-asteesta määrittää kuuluuko kustannus muuttuviin vai kiinteisiin kuluihin. Muuttuvat kustannukset kasvavat ja vähenevät toiminta-asteen mukaan. Muuttuvina kustannuksina pidetäänkin niitä kustannuksia, jotka riippuvat toiminta-asteesta riittävän selvästi. On hankala sanoa täsmällisesti mitkä ovat muuttuvia ja mitkä kiinteitä kustannuksia. Muuttuvina kustannuksina kuitenkin pidetään myytävien tavaroiden hankintamenoja. Yritysten tyypillisimpiä muuttuvia kustannuksia ovat työhön tai tuotteeseen käytetyt raaka-aineet ja materiaalit, ostetut alihankintapalvelut, palkkakustannukset henkilösivukuluineen, koneiden ja kaluston ylläpito, energiankulutusmaksut sekä apupalkat, kuten kuljetus, lajittelu ja kuormaus, jotka vaihtelevat tuotannon mukaan. (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, 56-58.)

Kiinteät kustannukset riippuvat kapasiteetti eli potentiaalitekijöistä, eivätkä toiminta-asteen vaihteluista. Kuitenkin ne kustannukset joiden riippuvuus toiminta-asteesta on hyvin vähäinen, lasketaan useimmiten kiinteisiin kuluihin. Normaaleja kiinteitä kustannuksia ovat koneiden ja kaluston poistot, tilavuokrat, lämmitykset, siivoukset, yritysjohton ja toimihenkilöiden palkkakulut, sähkön perusmaksu sekä toimistotarvikekustannukset. (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, 56.)

3 RAKENNUSKOHDE

3.1 Ponsse Oyj:n huoltopalvelukeskuksen pohjarakennustyöt

Tässä insinööriyössä rakennuskohteena oli Ponsse Oyj:n metsäkonetehtaan huoltopalvelukeskuksen pohjarakennustyöt. Urakan rakennuttajana oli Ponsse Oyj. Rakennettavasta alueesta oli tehty alustava sekä tarkennettu pohjatutkimus, joiden suositusten mukaisesti rakennukset ja jätevesiviemäriinjat perustettiin teräsbetonisille 300x300 mm:n tukipaaluille. Alue oli puutonta, avo-ojitettua alavaa humuspitoista peltoa.

Tontti oli pintavaahtu ja kartoitettu. Pohjatutkimukset oli tehty painokairalla 32 eri pisteestä ja ottamalla häiriintyneitä maanäytteitä kolmesta pisteestä yhteensä 22 kappaletta. Lisäksi oli suoritettu siipikairaus kahdesta pisteestä ja otettu yksi häiriintymätön maanäyte ödometrikoetta varten.

Maanpinta tontilla vaihteli tasovälillä +53.3 - +54.0. Tontin humusmaakerroksen paksuus oli n. 0,5 m. Humusmaan alapuolella oli noin metrin paksuinen kuivakuorikerros, joka oli pääosin laihaa savea, kuivakuorikerroksen alapuolella oli hyvin pehmeää liejuista lihavaa sekä laihaa savea 8 - 13 metrin paksuinen kerros. Liejuisen savikerroksen alapuolella oli hieman kiinteämpää kerrallista silttiä ja savea 9 - 15 metrin paksuinen kerros, osalla aluetta kyseisten kerrosten päällä oli ohut hiekkakerros. Kairaukset päättyivät 10.0 - 29.5 metrin syvyyteen maanpinnasta moreenikerroksessa oleviin lohkaraisiin tai kallioon. Pohjavesipinta alueella oli noin 1.5 metrin syvyydellä maanpinnasta.

Kuivakuorikerroksen alapuolella maapohjan häiriintymätön leikkauslujuus oli siipikairauksen perusteella n. 16 – 22 kN/m² seitsemän metrin syvyyteen saakka ja sen jälkeen n. 22 -35 kN/m². Vesipitoisuuden mukaan redusoidut leikkauslujuuden arvot olivat 11 – 15 kN/m² ja 15 – 25 kN/m². Ödometrikokeen perusteella maapohja oli normaalisti konsolidoitunutta ja moduuliluku oli 17.3 ja jännitysekspONENTTI 0.368.

Paalutus suunniteltiin ja toteutettiin LPO-2005 paalutusluokan II ohjeita noudattaen. Paaluille sallittiin 7 MPa kuormitus, paalukuormaa laskettaessa oli myös huomioitava negatiivinen vaippahankaus. Paalut varustettiin maakengillä ja paalutus aloitettiin koepaalutuksella lyömällä ylipitkiä paaluja pysyviksi paaluiksi eri puolille paalutettavia perustuksia. Paalujen jatkokset tehtiin paalutusohjeen mukaisilla jäykkäjatkoksilla. Paalujen loppulyöntiohjeiden täydentämiseksi sekä kantavuuden varmistamiseksi koepaalutuksen aikana tehtiin PDA-mittauksia. Koepaalutuksen yhteydessä seurattiin myös huokosvedenpaineen kehittymistä, jotta paalujen lyöntijärjestys voitiin suunnitella siten, että jo lyödyt paalut eivät huokosvedenpaineen nousun seurauksena siirtyneet paikoiltaan.

Alustavat työmaalle tilattavat paalun pituudet saatiin leikkauspiirustuksiin merkittyjen paalujen arvioitujen tunkeutumistasojen perusteella. Paalujen lopulliset pituudet arvioitiin koepaalutusten jälkeen.

Maaperän ollessa erittäin häiriintymisherkkää ja maapohjan kantavuuden ollessa huono, paalutustyötä varten oli rakennettava vähintään 0,7 m paksu työalusta sorasta tai murskeesta. Työalustan ja pohjamaan väliin oli asennettava suodatinkangas.

Paaluja lyötiin yhteensä 231 kappaletta. Neljän katkenneen paalun viereen lyötiin korvaavat uudet paalut. Paalutustyö kesti yhteensä 11 työpäivää, jolloin yhtä päivää kohden lyötiin keskimäärin 21 paalua.

3.2 Urakkalaskenta

Paalutustyö toteutettiin alihankintana, sillä Suomen Teollisuus- ja Maarakennus Oy:llä ei ole paalutustyön toteutukseen tarvittavaa kalustoa. Yrityksen laskentapäällikkö teki suunnitelmakuvien perusteella tarjouspyynnöt paalutustyön tarjoajille ja valitsi tarjouksista kilpailukykyisimmän ja kokonaisedullisimman hinnan. Tarjouksen hyväksynnän jälkeen laskentapäällikkö arvioi työkohteen mahdolliset riskit, työtekniset sekä toteuttamisvaihtoehdot yhdessä toimitusjohtajan ja vastaavan mestarin kanssa.

Ponsse Oyj:n huoltopalvelukeskuksen pohjarakennustöiden kustannuslaskennan perusteena oli käytetty Insinööritoimisto Ylä-Savon rakennussuunnittelu Ky:n laatimia rakennepiirustuksia ja paaluluetteloa (liitteet 1, 2 ja 3). Suunnitelmassa oli paalutuskartan lisäksi kustannuslaskennan kannalta merkittävät tiedot paaluista. Paaluluettelo sisälsi paalunumerot sekä paalukohtaiset tiedot paalujen yläpinnan katkaisutasoista ja alapinnan arvioiduista koroista sekä arviot paalujen pituudesta. Luettelossa oli myös eritelty vinopaalut sekä niiden kaltevuudet. Luettelon numerointi vastasi paalutuskarttaan numeroituja paalun paikkoja.

3.3 Paalutuspöytäkirja

Paalutuspöytäkirjaan (liite 4) kirjattiin tiedot lyödyistä paaluista työmaan aikana. Paalutuspöytäkirjan numerointi vastasi suunnitelman paaluluettelon numerointia. Paalutuspöytäkirjaan merkittiin

- ala- ja yläpaalun valmistuspäivämäärät
- lyöntipäivämäärät
- ala- ja yläpaalun pituus metreinä
- paalun pituus yhteensä metreinä
- järkäleen paino
- paalun halkaisija
- paaluun lyötyjen iskujen lukumäärä
- loppulyöntiehdot täyttävät loppulyöntisarjat
- paalun ylä- ja alapään korko
- paalun katkaisukorko
- paalun lopullinen pituus
- paalun sijaintipoikkeamat
- lyöntikorkeus
- toteutunut kaltevuus (cm/m)
- muut huomioitavat asiat kuten ylimääräiset ja katkenneet paalut.

Lisäksi paalutuspöytäkirjaan oli merkitty paalutusluokka, käytetty lyöntipaalutusohje, paalutuskone, apupaalun koko ja paino, iskutyyny, järkäleen

pudotustapa, paalun betonin lujuus, paalun paino sekä paaluttajan ja yhteyshenkilön yhteystiedot ja kohteen osoitetiedot.

4 ARVIOIDUT JA TOTEUTUNEET KUSTANNUKSET

Ponsse Oyj:n huoltopalvelukeskuksen pohjarakennustöiden todelliset kustannukset ylittivät ennakkoon arvioidut kustannukset. Erot rakennesuunnitelman paaluluettelon ja paalutuspöytäkirjan välillä selittävät sen, etteivät arvioidut kustannukset vastanneet toteutuneita. Paalutuksen kokonaiskustannuksiksi laskettiin etukäteen 188 000 euroa, mutta lopulliset toteutuneet kustannukset olivat 195 000 euroa.

Loppuselvityksen (taulukko 1) mukaan tehollisia paalumetrejä työmaalle oli laskettu 6 038 m ja momenttijatkoksia 231 kpl. Tehollisilla paalumetreillä tarkoitetaan paalun lopullista pituutta, kun paalun katkaisukorosta on vähennetty paalun alapään korko. Toteutuneita paalumetrejä oli 6 285 m. Luku sisältää varsinaisten paalujen lisäksi myös katkenneet ja hylätyt paalut. Paalutuspöytäkirjasta (liite 4) selviää, että työmaalla oli hylätty neljä paalua, katkeamisen vuoksi. Paalut olivat pituudeltaan 28 metriä, 24 metriä, 27 metriä ja 26 metriä. Lyötyjä tehollisia paalumetrejä oli 5 878 m. Toteutuneista lyödyistä paaluista hukkaa jäi 239 m. Paalua kohden hukkaa tuli 1,04 metriä paalua kohden.

Paalumetrit olivat lisääntyneet 247 m, jonka vuoksi kustannukset olivat kasvaneet 6 669 euroa. Momenttijatkokset olivat lisääntyneet neljällä kappaleella ja niiden kustannukset olivat lisääntyneet 360 euroa. Lisääntyneet momenttijatkokset selittyvät katkenneiden paalujen tilalle lyödyistä korvaavista paaluista.

Taulukko 1. Loppuselvitys

LOPPUSELVITYS

	LASKETTU	TOTEUTUNUT	MUUTOS	EUROA
300 X 300 Paalumetrit	6038 m	6285 m	247 m	6669 €
Momenttijatkokset	231 kpl	235 kpl	4 kpl	360 €

5 TARKASTELU

Insinööriyön tavoitteena oli vertailla paalutustyön arvioituja ja toteutuneita kustannuksia. Työn tulosten perusteella voidaan päätellä, että paalutustyön kustannusten arviointi on haastavaa ja perustuu pitkälti paalutettavalla alueella tehtyihin pohjatutkimuksiin. Kustannuslaskentaa tehtäessä on tarkkaan arvioitava aina kyseisen työmaan olosuhteet ja mahdolliset vaikeudet. Kokeneella tarjouslaskijalla on merkittävä osa paalutustyön kustannuslaskennassa.

Tunkeutumissyvyyden mahdollisimman tarkka arviointi on oleellista lopullisten kustannusten kannalta. Jos arvioidut pituudet ylittyvät huomattavasti arvioidusta, kasvavat myös kustannukset samassa suhteessa. Urakkalaskenta-asiakirjoissa mainitaan yleensä tilaajan vaatimukset PDA-mittauksen suhteen, jolloin ne huomioidaan urakkalaskennassa.

Yleisesti ottaen pääurakoitsijalle kuuluvat työmaateiden ja petien teot sekä paalukuormien purut, sillä paaluttajalla harvoin on näihin töihin tarvittavia resursseja. Myös nämä työalustan rakentamistarpeet tulee huomioida urakkalaskennassa. Hukan arviointi on erittäin haasteellista. Se riippuu paljolti pohjaolosuhteista, lohkareisessa maassa arviointi on vaikeampaa kuin tasalaatuisessa maassa. Pohjatutkimusten merkitys on suurempi silloin kun maa on lohkareista tai muuten vaihtelevaa. Riski lohkareisen maan aiheuttamista rikkoutuneista paaluista tulee huomioida laskennassa. Aikataulut luovat aina omat haasteensa kustannusten arvioinnille. On tarkasti arvioitava työteho, eli henkilöstön ja kaluston määrä. Mutta tällä työmaalla yksi kone on ollut riittävä, sillä työmaalla ei olisi ollut tilaa toiselle koneelle eikä toiselle koneelle ollut tarvetta aikataulun suhteenkaan.

Jotta arvioidut laskelmat olisivat tällä työmaalla vastanneet paremmin todellisuutta, olisi laskelmien pohjana pitänyt olla perusteellisemmat pohjatutkimukset. Paremmilla pohjatutkimuksilla olisi todennäköisesti voitu estää muun muassa paalujen katkeamiset. Perusteellisempien pohjatutkimuksien teettäminen ei kuitenkaan olisi todennäköisesti ollut taloudellisesti kannattavaa.

LÄHTEET

Emeca Oy:n internet-sivut (2009). 6.2.2010.
<http://www.emeca.fi/index.php?lang=fin&p=2>.

Jääskeläinen, R. (2005). *Pohjarakennuksen perusteet*. Tammertekniikka. Tampere.

Kujala, J. (2005). *Paalulaattarakenteiden suunnittelu*. Tiehallinnon selvityksiä 25/2005. Helsinki.

Leimet Oy:n internet-sivut. 6.2.2010.
<http://www.leimet.fi/tuotteet.php>.

Neilimo, K. ja Uusi-Rauva, E. (2005). *Johdon laskentatoimi*. Edita Prima Oy. Helsinki.

Pellinen, J. (2006). *Kustannuslaskenta ja kannattavuusajattelu*. Talentum. Jyväskylä.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. (2005) *Lyöntipaalutusohje LPO-2005, Teräsbetoni- ja puupaalut*. Hakapaino Oy.

LIITTEET

- LIITE 1 Pylonin paaluluettelo
- LIITE 2 Konekatoksen paaluluettelo
- LIITE 3 Huoltorakennuksen paaluluettelo
- LIITE 4 Paalutuspöytäkirja

LIITE 1

paalun n:o	yp:n katkaisu	ap. arvioitu	pituus /m
230	54,00	27,00	27,00
231	54,00	27,00	26,90

PAALUJEN YLÄPÄÄN KATKAISU
MÄÄRITELÄÄN LOPULLISEN MAANPINNAN MUKAAN

LIITE 2

PONSSE OYJ / KOUVOLAN HUOLTOPALVELUKESKUS
KONEKATOS PAALULUETTELO 20.11.2007

paalun n:o	yp:n katkaisu	ap. arvioitu	pituus /m
206	53,20	27,00	26,20
207	53,20	27,00	26,20
208	53,20	27,00	26,20
209	53,20	27,50	25,70 ↓
210	53,20	27,50	25,70 ✓
211	53,20	27,50	25,70 ↓
212	53,20	27,50	25,70 ✓
213	53,20	27,50	25,70 ✓
214	53,20	27,50	25,70 ✓
215	53,20	27,50	25,70 ✓
216	53,20	27,50	25,70 ✓
217	53,20	27,50	25,70 ↓
218	53,20	30,00	23,20 ↓
219	53,20	30,00	23,20 ↓
220	53,20	30,00	23,20 ✓
221	53,20	30,00	23,20 ✓
222	53,20	30,00	23,20 ✓
223	53,20	30,00	23,20 ↓
224	53,20	30,50	22,70 ✓
225	53,20	30,50	22,70 ↓
226	53,20	30,50	22,70 ↓
227	53,20	30,50	22,70 ↓
228	53,20	30,50	22,70 ↓
229	53,20	30,50	22,70 ↓
ARVIOITU TEHOLLINEN PAA	LUMENEKKI		585,3 jm

LIITE 3 (1)

PONSSE OYJ / KOUVOLAN HUOLTOPALVELUKESKUS
PAALULUETTELO 20.11.2007

paalun n:o	yp:n katkaisu	ap. arvioitu	arviopituus /m	paalun n:o	yp:n katkaisu	ap. arvioitu	pituus /m
1 (1:10)	53,20	25,00	28,20	54	53,20	27,00	26,20 ✓
2 (1:10)	53,20	25,00	28,20	55	53,20	28,00	25,20 ✓
3 (1:10)	53,20	25,00	28,20	56	53,20	28,00	25,20 ✓
4 (1:10)	53,20	25,00	28,20	57	53,20	28,00	25,20 ✓
5	53,20	25,10	28,10	58	53,20	28,00	25,20 ✓
6	53,20	25,10	28,10	59	53,20	28,60	24,60 ✓
7	53,20	25,10	28,10	60	53,20	28,60	24,60 ✓
8	53,20	25,10	28,10	61	53,20	28,60	24,60 ✓
9	53,20	25,10	28,10	62	53,20	28,60	24,60 ✓
10	53,20	25,10	28,10	63	53,20	29,30	23,90 ✓
11	53,20	25,10	28,10	64	53,20	29,30	23,90 ✓
12	53,20	25,10	28,10	65	53,20	29,30	23,90 ✓
13 (1:10)	53,20	25,30	27,90	66	53,20	29,80	23,40 ✓
14 (1:10)	53,20	25,30	27,90	67	53,20	29,80	23,40 ✓
15 (1:10)	53,20	25,30	27,90	68	53,20	29,80	23,40 ✓
16 (1:10)	53,20	25,30	27,90	69	53,20	29,80	23,40 ✓
17	53,20	25,30	27,90	70	53,20	30,70	22,50 ✓
18	53,20	25,30	27,90	71	53,20	30,70	22,50 ✓
19	53,20	25,30	27,90	72	53,20	30,70	22,50 ✓
20	53,20	25,30	27,90	73	53,20	31,00	22,20 ✓
21	53,20	25,30	27,90	74	53,20	31,00	22,20 ✓
22	53,20	25,30	27,90	75	53,20	31,00	22,20 ✓
23	53,20	25,30	27,90	76 (1:10)	53,20	31,30	21,90 ✓
24	53,20	25,30	27,90	77 (1:10)	53,20	31,30	21,90 ✓
25	53,20	26,00	27,20	78 (1:10)	53,20	31,30	21,90 ✓
26	53,20	26,00	27,20	79	53,20	31,30	21,90 ✓
27	53,20	26,00	27,20	80	53,20	31,30	21,90 ✓
28	53,20	26,00	27,20	81	53,20	29,40	23,80 ✓
29	53,20	24,30	28,90	82	53,20	29,40	23,80 ✓
30	53,20	24,30	28,90	83 (1:10)	53,20	28,50	24,70 ✓
31	53,20	24,30	28,90	84 (1:10)	53,20	28,50	24,70 ✓
32	53,20	24,30	28,90	85 (1:10)	53,20	28,50	24,70 ✓
33	53,20	24,40	28,80	86 (1:10)	53,20	28,50	24,70 ✓
34	53,20	24,40	28,80	87	53,20	29,10	24,10 ✓
35 (1:10)	53,20	24,50	28,70	88	53,20	29,10	24,10 ✓
36 (1:10)	53,20	24,50	28,70	89	53,20	29,10	24,10 ✓
37 (1:10)	53,20	24,50	28,70	90	53,20	29,10	24,10 ✓
38 (1:10)	53,20	24,50	28,70	91	53,20	29,70	23,50 ✓
39	53,20	24,80	28,40	92	53,20	29,70	23,50 ✓
40	53,20	24,80	28,40	93	53,20	29,70	23,50 ✓
41	53,20	24,80	28,40	94	53,20	29,70	23,50 ✓
42	53,20	24,80	28,40	95	53,20	30,50	22,70 ✓
43	53,20	25,20	28,00	96	53,20	30,50	22,70 ✓
44	53,20	25,20	28,00	97	53,20	30,50	22,70 ✓
45	53,20	25,20	28,00	98	53,20	30,50	22,70 ✓
46	53,20	25,20	28,00	99	53,20	31,20	22,00 ✓
47 (1:10)	53,20	25,50	27,70	100	53,20	31,20	22,00 ✓
48 (1:10)	53,20	25,50	27,70	101	53,20	31,20	22,00 ✓
49 (1:10)	53,20	25,50	27,70	102	53,20	31,20	22,00 ✓
50 (1:10)	53,20	25,50	27,70	103	53,50	31,50	22,00 ✓
51	53,20	27,00	26,20	104	53,50	31,50	22,00 ✓
52	53,20	27,00	26,20	105	53,50	31,30	22,20 ✓
53	53,20	27,00	26,20	106	53,20	31,30	21,90 ✓

LIITE 3 (2)

paalun n:o	yp:n katkaisu	ap. arvioitu	pituus /m	paalun n:o	yp:n katkaisu	ap. arvioitu	pituus /m
107	53,20	31,30	21,90 ✓	160	54,40	25,70	28,70 ✓
108	53,20	28,00	25,20 ✓	161	54,40	25,30	29,10 ✓
109	53,20	28,00	25,20 ✓	162	53,20	25,30	27,90 ✓
110	53,20	26,80	26,40 ✓	163	53,20	25,30	27,90 ✓
111	53,20	26,80	26,40 ✓	164	53,20	26,20	27,00 ✓
112	53,20	26,80	26,40 ✓	165	53,20	26,20	27,00 ✓
113	53,20	26,80	26,40 ✓	166	53,20	25,70	27,50 ✓
114	53,70	27,40	26,30 ✓	167	53,20	25,70	27,50 ✓
115	53,20	27,40	25,80 ✓	168	54,40	26,50	27,90 ✓
116	53,20	27,40	25,80 ✓	169	54,40	26,50	27,90 ✓
117	53,20	27,40	25,80 ✓	170	54,40	26,80	27,60 ✓
118	53,20	27,40	25,80 ✓	171	54,40	26,00	28,40 ✓
119	53,20	27,40	25,80 ✓	172	54,40	26,20	28,20 ✓
120	53,70	27,40	26,30 ✓	173	54,40	26,00	28,40 ✓
121	53,20	28,00	25,20 ✓	174	54,40	26,00	28,40 ✓
122	53,20	28,00	25,20 ✓	175	54,40	27,00	27,40 ✓
123	53,20	28,00	25,20 ✓	176	54,40	27,00	27,40 ✓
124	53,20	28,00	25,20 ✓	177	54,40	26,80	27,60 ✓
125	53,70	28,00	25,70 ✓	178	54,30	26,00	28,40 ✓
126	53,20	28,00	25,20 ✓	179	54,30	27,00	27,40 ✓
127	53,20	29,20	24,00 ✓	180	54,30	27,00	27,40 ✓
128	53,20	29,20	24,00 ✓	181	54,40	27,70	26,70 ✓
129	53,20	29,20	24,00 ✓	182	54,40	27,40	27,00 ✓
130	53,20	29,20	24,00 ✓	183	54,40	27,40	27,00 ✓
131	53,70	29,20	24,50 ✓	184	54,40	26,70	27,70 ✓
132 (1:10)	53,20	30,50	22,70 ✓	185	54,40	26,00	28,40 ✓
133 (1:10)	53,20	30,50	22,70 ✓	186	54,40	26,00	28,40 ✓
134 (1:10)	53,20	30,50	22,70 ✓	187	54,40	27,00	27,40 ✓
135	53,70	30,50	23,20 ✓	188	54,40	27,80	26,60 ✓
136	53,70	30,50	23,20 ✓	189	54,40	28,00	26,40 ✓
137	53,70	30,50	23,20 ✓	190	54,40	28,00	26,40 ✓
138	53,20	24,70	28,50 ✓	191	54,40	31,30	23,10 ✓
139	53,20	24,70	28,50 ✓	192	54,50	26,70	27,80 ✓
140	53,20	24,30	28,90 ✓	193	54,50	26,00	28,50 ✓
141	53,20	24,30	28,90 ✓	194	54,50	26,00	28,50 ✓
142	53,20	24,30	28,90 ✓	195	54,50	27,00	27,50 ✓
143	53,20	24,30	28,90 ✓	196	54,50	27,80	26,70 ✓
144	54,20	24,50	29,70 ✓	197	54,50	28,00	26,50 ✓
145	54,20	24,50	29,70 ✓	198	54,50	28,00	26,50 ✓
146	54,20	24,50	29,70 ✓	199	54,50	31,30	23,20 ✓
147	54,20	24,60	29,60 ✓	200	54,50	26,70	27,80 ✓
148	54,40	24,40	30,00 ✓	201	54,50	26,00	28,50 ✓
149	54,30	24,50	29,90 ✓	202	54,50	26,00	28,50 ✓
150	54,30	24,70	29,70 ✓	203	54,50	27,00	27,50 ✓
151	54,30	25,00	29,40 ✓	204	53,20	25,00	28,20 ✓
152	54,40	25,00	29,40 ✓	205	53,20	25,00	28,20 ✓
153	54,40	25,00	29,40 ✓				
154	54,40	25,20	29,20 ✓				
155	54,40	25,20	29,20 ✓				
156	54,40	25,20	29,20 ✓				
157	54,40	25,40	29,00 ✓				
158	54,40	25,40	29,00 ✓				
159	54,40	25,70	28,70 ✓				
				ARVIOITU TEHOLLINEN PAALUMENEKKI 5399,00 jm			
				TÄMÄN LISÄKSI KONEKATOKSEN JA PYLONIN PAALUT			

LIITE 4 (7)

Ponsse Oyj

7/7

Paaulun numero	Alipaaluun valmistuspyvm	ylijapaaluun valmistuspyvm	paaulun lyönti pv.	Ala- valli ylijapaaluun valmistuspyvm	paaulun lyönti pv.	Ala- valli ylijapaaluun valmistuspyvm	P.L. pihyt	Järkäll. paino	P.L. halk.	paaulun lyönti lukumäärä	loppuyhdistelmäerhödet täytävät loppuyhdistelmäerhödet	Paaulun yläpää	paaulun katk.kork.	paaulun alipää	paaulun lopull.pit.	Δ Y	Δ X	Huom!		lyönti	tot. kelt.
																		Syväite menneet	Kalkenneet ym		
207	5.2.08	30.1.08	4.3.08	15	0	12	27	5000	300	306	5 sarjaa	54,610	53,20	27,61	25,59	-0,100	-0,050			31	0
208	5.2.08	30.1.08	4.3.08	15	0	12	27	5000	300	282	5 sarjaa	54,680	53,20	27,68	25,52	0,020	-0,070			31	0
209	21.9.07	25.2.08	5.3.08	15	0	11	26	5000	300	357	5 sarjaa	54,840	53,20	28,84	24,36	-0,060	-0,010			31	0
210	30.1.08	25.2.08	5.3.08	15	0	11	26	5000	300	363	5 sarjaa	54,030	53,20	28,03	25,17	-0,010	-0,020			31	0
211	5.2.08	25.2.08	5.3.08	15	0	11	26	5000	300	329	5 sarjaa	55,180	53,20	29,18	24,02	-0,100	-0,060			31	0
212	5.2.08	17.4.07	4.3.08	15	0	10	25	5000	300	200	5 sarjaa	54,440	53,20	29,44	23,76	0,010	-0,060			31	0
213	14.8.07	25.2.08	3.3.08	15	0	11	26	5000	300	185	5 sarjaa	54,970	53,20	28,97	24,23	-0,020	-0,070			31	0
214	5.2.08	17.4.07	4.3.08	15	0	10	25	5000	300	200	5 sarjaa	54,400	53,20	28,40	23,80	-0,030	-0,030			31	0
215	5.2.08	25.2.08	4.3.08	15	0	11	26	5000	300	269	5 sarjaa	55,230	53,20	29,23	23,97	0,000	0,000			31	0
216	14.8.07	25.2.08	3.3.08	15	0	11	26	5000	300	201	5 sarjaa	54,490	53,20	28,49	24,71	0,030	-0,190			31	0
217	5.2.08	25.2.08	4.3.08	15	0	11	26	5000	300	298	5 sarjaa	55,070	53,20	29,07	24,13	0,000	-0,070			31	0
218a	29.1.08	25.2.08	4.3.08	15	0	11	26	5000	300	512	5 sarjaa	55,370	53,20	29,37	23,83	0,180	-0,310	lisäpaalu		31	0
219	14.8.07	25.2.08	4.3.08	15	0	11	26	5000	300	527	5 sarjaa	54,660	53,20	28,63	24,57	0,000	-0,020			31	0
220	8.2.08	10.10.04	4.3.08	13	0	15	28	5000	300	462	5 sarjaa	52,760	53,20	24,76	26,00	0,040	0,020	3		32	0
221	5.2.08	17.4.07	5.3.08	15	0	10	25	5000	300	335	5 sarjaa	54,070	53,20	29,07	24,13	-0,090	-0,020			31	0
222	21.9.07	17.4.07	5.3.08	15	0	10	25	5000	300	317	5 sarjaa	54,430	53,20	29,43	23,77	-0,010	-0,100			31	0
223	21.9.07	27.4.07	5.3.08	15	0	10	25	5000	300	251	5 sarjaa	54,530	53,20	29,53	23,67	0,010	0,040			31	0
224	5.2.08	15.2.08	4.3.08	15	0	9	24	5000	300	305	5 sarjaa	54,330	53,20	30,33	22,87	-0,020	-0,020			30	0
225	8.2.08	25.2.08	3.3.08	13	0	11	24	5000	300	195	5 sarjaa	54,220	53,20	30,22	22,98	0,100	0,100			30	0
226	5.2.08	15.2.08	4.3.08	15	0	9	24	5000	300	265	5 sarjaa	54,430	53,20	30,43	22,77	0,100	0,100			30	0
227	5.2.08	17.4.07	4.3.08	15	0	10	25	5000	300	155	5 sarjaa	55,490	53,20	30,49	22,71	0,070	-0,050			31	0
228	5.2.08	17.4.07	4.3.08	15	0	10	25	5000	300	149	5 sarjaa	53,460	53,20	30,46	23,74	0,040	-0,020			31	0
229	8.2.08	25.2.08	3.3.08	13	0	11	24	5000	300	189	5 sarjaa	53,460	53,20	29,46	23,74	0,010	0,030			30	0
230	5.2.08	9.8.07	4.3.08	15	0	12	27	5000	300	196	5 sarjaa	62,626	54,00	35,63	18,37	75,732	85,039			31	0
231	5.2.08	9.8.07	4.3.08	15	0	12	27	5000	300	267	5 sarjaa	61,642	54,00	34,64	19,36	75,497	86,773			31	0
232	1.2.08	18.4.07	26.2.08	12	0	10	22	5000	300	164	5 sarjaa		50,80							30	0
233	7.2.08	5.1.08	27.2.08	13	0	8	21	5000	300	109	5 sarjaa		50,80							29	0
234	7.2.08	10.10.07	27.2.08	13	0	7	20	5000	300	215	5 sarjaa		50,80							29	0
-218	14.8.07	25.2.08	4.3.08	15	0	11	26	5000	300												
50	6.2.08	11.2.08	22.2.08	16	0	13	28	5000	300												
94	8.2.08	15.2.08	3.3.08	13	0	11	24	5000	300												
116	5.2.08	30.1.08	4.3.08	15	0	12	27	5000	300												
-218	14.8.07	25.2.08	4.3.08	15	0	11	26	5000	300												

Pyölyonin paaulun sijainti rakennuksen mittamies merkannut, ja ottaa niistä tarpeen mukaan tiedot!
Ankkuripaalu on rakennuksen mittamies merkannut, ja ottaa niistä tarpeen mukaan tiedot!

25.3.2008

MITTAPIIRI OY (C)