

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Rakennustuotanto

Opinnäytetyö

Jani Harjula

TERÄSBETONISTEN LYÖNTIPAALUJEN VALMISTUS JA LYÖNTIPAALUTUS

Työn ohjaaja DI Hannu Kauranen
Työn teettäjä Paalutoimikunta, valvojana RI Olli-Heikki Pietikäinen
Tampere 2008

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

Rakennustuotanto

Harjula, Jani

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Joulukuu 2008

Hakusanat

Teräsbetonisten lyöntipaalujen valmistus ja lyöntipaalutus

34 sivua + DVD-video liitteenä

DI Hannu Kauranen

Paalutoimikunta, valvojana RI Olli-Heikki Pietikäinen

teräsbetonipaalu, lyöntipaalutus, paalun valmistus

TIIVISTELMÄ

Työssä perehdyttiin teräsbetonisten lyöntipaalujen valmistusprosessiin ja -menetelmiin. Työssä käsiteltiin myös teräsbetonisen lyöntipaalun kuljetusta, välivarastointia ja asennusta ja siihen olennaisesti liittyviä asioita työmaalla. Opinnäytetyöhön kuuluu kirjallisen osan lisäksi myös teräsbetonisten lyöntipaalujen valmistus- ja asennustyötä esittelevä video. Video on tarkoitettu Tampereen ammattikorkeakoulun sekä teollisuuden käyttöön opetus- ja esittelytarkoituksiin. Teräsbetonisesta lyöntipaalusta käytetään työssä jäljempänä nimitystä betonipaalu tai paalu.

Paalujen käyttö on yleistynyt samalla, kun kasvukeskuksissa on jouduttu ottamaan käyttöön maa-alueita, joihin vaaditaan paalutusta. Paaluja käytetään yleisesti perustamistapana talonrakennuksen uudishankkeissa. Suomessa käytössä olevat paalut voidaan jakaa kolmeen eri materiaalin mukaan puu-, teräs-, ja teräsbetonisiin lyöntipaaluihin. Pääosa paaluista on tukipaaluja, jotka siirtävät kuormat pääosin kallioon tai tiivisrakenteiseen maakerrokseen. Lisäksi kuormituksia voidaan siirtää maaperään kitka- tai koheesiopaaluin. Paalutyypin valintaan vaikuttavat ensisijaisesti rakennuspaikan pohjasuhteet ja rakenteiden asettamat vaatimukset. Paalutusluokkia on kolme: III, II ja I. Luokka I on vaativin ja on se jaettu alaluokkiin IA ja IB.

Paalujen valmistus on monivaiheinen prosessi. Vaikka valmistus on automatisoitunut, tehdään prosessin tietyt osat edelleen käsityövaltaisesti. Valmistus voidaan jakaa massan valmistukseen, raudoitustyöhön ja paalun valuun. Lisäksi paaluihin kiinnitetään esivalmistettuja teräsosia kuten: maa- ja kalliokärkiä, jatkoksia ja lyöntipään vanteita. Saavutettuaan nimellislujuutensa ovat paalut valmiita kuljetettaviksi työmaalle. Työmaalla paalut välivarastoidaan, mitataan paikalleen ja lyödään maahan. Työmaalla tapahtuvasta paalutuksesta vastaa paalutustyönjohtaja, joka pitää työstä asianmukaista paalutusprotokollaa.

Videota kuvattiin Rudus Betonituote Oy:n Nurmijärven tehtaalla sekä Skanska Oy:n Ratinanrannan työmaalla Tampereen alueella.

TAMPERE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Construction engineering

Building construction

Harjula, Jani

Engineer Thesis

Thesis Supervisor

Commissioning Company

December 2008

Keywords

Manufacturing and Pile Driving of Reinforced Concrete Piles

34 pages, DVD-video as appendice

Hannu Kauranen mSc

Paalutoimikunta, supervisor Olli-Heikki Pietikäinen,

Reinforced concrete piles, pile driving, pile manufacturing

ABSTRACT

This Thesis is about manufacturing processes of reinforced concrete piles. It also concentrates on pile driving and other important pile related works on site. The Thesis also includes a video for educational and promotional purposes. The video is intended for the use of Tampere University of Applied Sciences and Paalutoimikunta.

Pile driving has increased in construction for the past years. Reinforced concrete piles are used commonly in house building projects. There are three pile driving classes, III, II ja I. Class I is most demanding and is divided in to two subclasses, IA and IB.

Manufacturing piles is poluphasic. Although the process is more automated nowadays some phases are still made manually. Pile manufacturing is the sum of concrete manufacturing, prefabricating reinforcement and pile casting.

The purpose for this thesis was to produce an interesting and modern video about manufacturing and pile driving of reinforced concrete piles. The video was shot on-site in Tampere and on a factory of Rudus Betonituote Oy in Nurmijärvi.

ALKUSANAT

Työ tehtiin Rakennustuoteteollisuuden paalujaokselle ja Tampereen ammattikorkeakoululle. TAMK on tullut luonnollisesti opintojen myötä tutuksi viime vuosien ajan, Paalutoimikunta on minulle työn myötä tullut uusi tuttavuus. Videon tekeminen oli minulle luonnollinen tapa toteuttaa lopputyöni. Olen iloinen siitä, että saan olla tällä tavoin mukana avustamassa tulevia rakennusalan opiskelijoita heidän opiskelussaan.

Rudus Betonituote Oy:n puolelta kiitän työnjohtaja Klaus Lundahnia ja Betonituote Oy:n tuoteryhmäjohtajaa Olli-Heikki Pietikäistä, joka toimi myös työni valvojana ja työn tilaajan yhteyshenkilönä. Olitte tärkeänä apuna kuvausten aikana ja kirjallisen osuuden tuottamisessa. Skanska Infra Oy:stä kiitän Jussi Mikkosta, Ratinanrannan paalutuksista vastannutta työnjohtajaa sekä projektipäällikkö Ismo Kivelää. Kiitoksen ansaitsevat myös työmaan kaksi paaluttajaa, sekä kaikki muut videolla esiintyvät työntekijät.

Suuri kiitos myös Hannu Kauraselle, joka toimi työni ohjaavana opettajana. Kiitos myös maanrakennuksen vastaavalle opettajalle Hannele Kulmalalle asiantuntevista neuvoista työhön liittyen.

Kiitos myös kaikille teille, jotka olette auttaneet tämän matkan varrella, mutta jotka nyt unohdin.

Tampereella 10.12.2008

Jani Harjula

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	6
2	LYÖNTIPAALUPERUSTUKSET	7
2.1	Yleistä.....	7
2.2	Käsitteitä.....	7
2.3	Paalutusluokat.....	8
3	TERÄSBETONISET LYÖNTIPAALUT	9
3.1	Paaluista yleisesti.....	9
3.2	Paalukoot	9
3.3	Käyttökohteet	10
3.4	Varusteet	10
3.5	Laatuvaatimukset	12
3.6	Mittavaatimukset	13
4	VALMISTUS.....	13
4.1	Tehtaan yleistiedot	13
4.2	Valmistusprosessi	14
4.3	Massa.....	14
4.4	Raudoitus	14
4.5	Muotit.....	15
4.6	Valu	16
4.7	Varastointi tehtaalla.....	17
4.8	Laadunvarmistus	17
5	PAALUTOIMITUS	19
5.1	Toimituksen käynnistäminen.....	19
5.2	Kuljetus työmaalle	19
5.3	Vastaanotto	20
6	KOHDETYÖMAA	21
6.1	Kohdetiedot	21
6.2	Paalutus työmaalla	21
7	PAALUTUSTYÖ.....	23
7.1	Vastaanotto ja välivarastointi	23
7.2	Aloittavat työt.....	23
7.3	Paikalleen mittaus ja merkintä	24
7.4	Paalutus	25
7.5	Laadunvarmistus	28
7.6	Paalutuspöytäkirja	29
7.7	Geoteknisen kantokyvyn ja ehjyyden mittaus	29
8	PAALUTUSVIDEO.....	32
8.1	Kalusto	32
8.2	Kuvauskohteet.....	32
8.3	Videon tarkoitus.....	32
9	YHTEENVETO.....	33
	LÄHDELUETTELO	34
	LIITTEET	

1 Teräsbetonisten lyöntipaalujen valmistus ja lyöntipaalutus -DVD

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on koko paalun elinkaari valmistuksesta aina asennukseen asti. Osa tutkintotyötä on opetus- ja esittelykäyttöön tarkoitettu video paaluista ja paalutuksesta. Työn pyrkimyksenä on kuvata paalujen valmistusprosessia, itse paalutusta ja muita paaluihin liittyviä toimia ja työvaiheita mahdollisimman tarkasti, kuitenkin säilyttäen pedagogisen ymmärrettävyyden. Työ on rajattu siten, että siinä ei käsitellä paalutuksen suunnittelua. Tutkintotyön kirjallinen osuus ja video toimivat molemmat itsenäisinä lähteinä, joita voidaan käyttää tarkoitukseen sopivasti toisista erillään.

Työn tarkoituksena oli tuottaa pedagogisesti kiinnostava ja ajan tasalla oleva esittelyvideo paalun valmistuksesta ja asennustyöstä työmaalla sekä havainnollista näihin liittyviä muita töitä, kuten mittauksia ja työnjohdollisia tehtäviä. Videon koostaminen aiheesta on ilmeisen tarpeellista, sillä oppilaitoksen käytössä ei ole juurikaan paalutukseen ja paalujen valmistukseen liittyvää videomateriaalia. Myös teollisuudella on tällaiselle materiaalille selkeä tarve.

Paalun valmistus on monivaiheinen prosessi, jossa käytetään valmiin paalun tuottamiseksi osittain tietokonepohjaista automatiikkaa ja osittain perinteistä käsityötä. Betonimassan valmistus on automatisoitua, toisaalta paalun raudoitus tehdään usein manuaalisesti. Valun jälkeen paalu on muotissaan kovettumismisajan, kunnes paalu on saavuttanut purkulujuutensa. Muotista purun jälkeen paalu siirretään varastoon missä paalut saavuttavat standardinmukaisen lujutensa. Tämän jälkeen paalut ovat valmiita kuljetettaviksi työmaalle.

Työmaalla paaluille tehdään vastaanottotarkastus, jossa todetaan niiden kunto ja tilauksen oikeellisuus. Paalut joko välivarastoidaan työmaalle tai lyödään maahan suoraan kuljetusauton kyydistä. Ennen paalutuksen aloittamista tulee paalujen paikat olla merkitty asianmukaisesti. Lisäksi paalutuksesta on hyvä laatia erillinen suunnitelma, josta käy ilmi esimerkiksi paalujen asennusjärjestys. Työtä valvoo työnjohtaja, joka pitää samalla pöytäkirjaa.

Yleisimmät varusteet paaluille ovat kallio- ja maakärjet sekä paalujatkokset, jotka melkein aina ovat asennettu paalun jo paaluja valmistavalla tehtaalla. Maaperäolosuhteista johtuen valitaan paaluun sopiva kärki suojaamaan

rasituksilta. Paalujen jatkaminen onnistuu helposti valmistusvaiheessa asennettavilla jatkososilla.

2 LYÖNTIPAALUPERUSTUKSET

2.1 Yleistä

Paaluperustuksia käytetään, jos rakennuksen perustaminen maan varaan ei ole mahdollista. Tavallisimpia syitä tähän ovat maan painuminen, siirtyminen ja kiertyminen. Paaluperustusten käyttö on jatkuvasti yleistynyt samalla, kun kasvukeskuksissa on otettu käyttöön maa-alueita, joita on aiemmin vältelty maaperän takia. Tällaiset alueet ovat kuitenkin sijainnillisesti kiinnostavalla alueella, ja paalutus on mahdollistanut rakentamisen. Oman panoksensa paalutuksen yleistymiseen on tuonut myös teollisuus, joka on laajasti kehittänyt uutta tekniikkaa itse paaluista ja niiden varusteista aina paalutuskoneisiin /1/.

2.2 Käsitteitä

Paalujen kantavuutta ohjaa kaksi tekijää: itse paalun kantavuus ja maaperän kantavuus. Vaikka paalu olisi kuinka luja tahansa, tulee kantavuudessa raja vastaan, jos maaperä pettää. Sama pätee luonnollisesti myös toisinpäin. Paalun geoteknisellä kantavuudella tarkoitetaan mitoitusarvoa, joka saadaan huomioimalla sekä varmuus maapohjan murtumista vastaan että sallitut painumat. Paalun rakenteellisella kantavuudella taas tarkoitetaan arvoa, joka saadaan huomioimalla varmuus sekä paalun rakenteellista murtumista vastaan että paalun sallitut muodonmuutokset /6/. Paalun kantavuudella tarkoitetaan tavallisesti paalun pituusakselin suuntaista kantavuutta ja se on korkeintaan yhtä suuri kuin pienempi kahdesta edellä mainitusta kantavuudesta /1/.

Paalut voidaan jakaa tukipaaluihin, kitkapaaluihin ja koheesiopaaluihin: Tukipaalu siirtää pääosan kuormasta kärjen välityksellä kallioon tai tiivisrakenteiseen maakerroksen. Kitkapaalu siirtää kuormansa pääosin kitkamaakerrokseen vaippapinnallaan vaikuttavan kitkan välityksellä. Koheesiopaalu siirtää kuormasta koheesiomaakerrokseen vaippapinnallaan syntyvän adheesion välityksellä. Valtaosa talonrakennushankkeissa käytetyistä paaluista on toiminnaltaan tukipaaluja /1/.

2.3 Paalutusluokat

Paalujen sallitut kuormat määräytyvät seuraavista tekijöistä:

- Paalujen luokka
- Pohjaolosuhteet rakennuspaikalla
- Paalutustyötapo, -laatu ja työn valvonta
- Kantavuuden mittaukset ja kokeet

Lyöntipaalutusohjeen LPO-2005 mukaan paalutusluokkia on kolme: III, II ja I. Luokka I jaetaan vielä kahteen alaluokkaan IB ja IA. Paalutusluokkaa määritettäessä tulee ottaa huomioon rakennuskohteen luonne, pohjatutkimukset, paalujen laatu, paalutuskalusto sekä paalutustöiden suorituksen, valvonnan ja tarkastusten laatu ja yksityiskohtaisuus /4/.

Paalutusluokkaan III kuuluvat tavallisesti pienimuotoiset paalutustyöt, joissa kohde on pieni, paaluille tulevat kuormat ovat pieniä tai suoritus ei täytä ylemmän luokan II vaatimuksia. Vähimmäisvaatimuksia luokassa III on kuitenkin useita.

Paaluperustukset ja paalutustyö tulee suunnitella asianmukaisesti. Paaluina ja jatkoksina käytetään LPO:n määräysten mukaisia tuotteita. Myös lyöntikaluston tulee olla nämä määräykset täyttävä. Apupaalun käyttö on sallittu. Paalujen betonin nimellislujuus tulee olla vähintään K45. Paalutustyö tulee lisäksi suorittaa paalutustyönjohtajan valvonnan alaisena, ja työstä tulee pitää seikkaperäistä paalutuspöytäkirjaa /4/.

Paalutusluokkaan II luetaan alemman luokan lisäksi lukuisia vaatimuksia.

Paalutussuunnitelman tulee perustua yksityiskohtaisiin ja luotettaviin pohjatutkimuksiin. Apupaalun käyttö on sallittua vain tapauskohtaisesti. Paalutustyötä tulee valvoa tarkemmin LPO:n määrittämän mukaisesti. Paalutustyöstä tulee pitää niin tarkkaa pöytäkirjaa, että sen perusteella voidaan jokaisesta paalusta tutkia sen ehjänä säilymistä ja kantavuutta. Näiden lisäksi kallioon tai lohkaraiseen maahan ulottuvat paalut tulee varustaa kalliokärjillä /4/.

Paalutusluokka I jaetaan paalujen sallitun geoteknisen kantavuuden ja paalutuksen tarkastustoimenpiteiden perusteella alaryhmiin IB ja IA. Luokalle IB asetetaan alempien luokkien lisäksi muun muassa seuraavat vaatimukset /4/:

- Paalujen betonin nimellislujouden tulee olla vähintään K50
- Paalun pää on vahvistettu teräsvanteella
- Paalutuskoneen järkäle on hydraulisesti toimiva
- Loppulyöntiehto ja apupaalun toimivuus tarkastetaan PDA-mittauksilla

Paalutusluokka IA on teräsbetonipaaluja koskevien paalutusten erikoisluokka, jonka käyttämiseksi asetetaan paalutusluokkaa IB suurempia ja jokaisessa tapauksessa erikseen määräytyviä vaatimuksia. Paalutusluokan IA suunnitelmia saa tuottaa vain AA-luokan pätevyden omaava geotekninen tai pohjarakenteista vastaava suunnittelija. /4/

3 TERÄSBETONISET LYÖNTIPAALUT

3.1 Paaluista yleisesti

Rakentamiseen käytetyt paalut voidaan jakaa materiaalinsa mukaan puu-, teräs- ja teräsbetonipaaluhiin. Viimeksi mainituista käytetään yleisesti nimitystä betonipaalut. Talonrakennushankkeiden perustuksissa käytetään paalutukseen lähes poikkeuksetta betonipaaluja niiden hyvin ominaisuuksien vuoksi. Puupaaluja käytetään niille sopiviin käyttötarkoituksiin kunnallistekniikassa ja tienrakennuksessa varsinkin väliaikaisiin rakennelmiin. Teräspaalut ovat betonipaalujen tavoin kehittyneet teollisuuden kehitystyön tuloksena. Samalla käytettävä kalusto on siirtynyt uuteen aikakauteen. /1/

3.2 Paalukoot

Betonipaaluja on saatavilla kolmea kokoa: 250 * 250 mm, 300 * 300 mm ja 350 * 350 mm. 250 mm:n paalut olivat aiemmin selvästi yleisimpiä mutta suunta on rakentamisessa kohti suurempia paaluja /1/. Nykyisin 300 mm:n paalujen menekki on suurin. Yksittäisen paalun pituus voi olla 3...15 metriä metrin jaolla. Jatketuissa paaluissa päästään selvästi tätä suurempiin kokonaismittoihin /5/.

3.3 Käyttökohteet

Tehdasmitalla valmistettavia betonipaaluja käytetään osana perusrakennetta pääasiassa infra- ja talonrakennusteollisuudessa silloin, kun maaperän kantavuus ei muuten ole riittävä.

3.4 Varusteet

Betonipaalujen ja paalutuksen varusteita ovat kallio- ja maakärjet, jatkokset, lyöntilevy sekä tukivanne /2/. Varusteiden valmistaminen on nykyisin oma erikoisalansa, ja paalunvalmistajat tilaavat varusteensa alihankkijoilta.

Jatkos (kuva 1) asennetaan paaluun jo valmistuksen yhteydessä. Jatkososat asennetaan molempiin liitettäviin paaluihin ja jatkokset kiinnitetään työmaalla helposti toisiinsa lyötävillä lukkotapeilla. Jatkokset ovat usein symmetrisiä /7/, joten niissä ei ole erillisiä uros- ja naarasliitoksia. Monet jatkokset ovat lisäksi purettavissa, jos alapaalu saavuttaa normaalia aikaisemmin riittävän kantavuuden.



Kuva 1 Paalujatkos 300*300, valmistaja Emeca Oy /7/

Kalliokärkiä (kuva 2) käytetään betonipaalun suojana, kun paalun kärki tukeutuu kallioon tai kiviseen ja lohkaraiseen maapohjaan. Siitä, käytetäänkö kalliokärkeä, päättää kohteen geotekninen suunnittelija. Kalliokärki mitoitetaan puristukselle siten,

että se kestää kuormia vähintään yhtä paljon kuin itse paalu. Kalliokärjellä varustetut betonipaalun nimellisljuuden on oltava vähintään K50 /4/.



Kuva 2 Kalliokärki 300*300, valmistaja Emeca Oy /7/

Maakärkiä (kuva 3) käytetään betonipaalun alapäässä silloin kun maaperä ei ole kivistä ja lohkareista eikä se tukeudu kallioon. Maakärjen tehtävä on suojata ja vahvistaa paalua. Maakärki on muodoltaan laatikkomainen. Maakärjistä käytetään myös nimityksiä maakenkä ja levykenkä /4/.



Kuva 3 Maakärki 300*300, valmistaja Emeca Oy /7/

Lyöntilevyä (kuva 4) käytetään suojaamaan jatkopaalua. Levy asennetaan alapaalussa olevan jatkoksen päälle, jolloin se suojaa jatkoksen lukkokarat lyönnin iskulta. Lyöntilevyt valmistetaan joko muoviseoksesta tai metallivalusta /10/.



Kuva 4 Lyöntilevy, valmistaja Leimet Oy /10/

Sidevanne (kuva 5) suojaa paalun yläpäätä lyönninaikaisilta rasituksilta /10/.



Kuva 5 Sidevanne, valmistaja Leimet Oy /10/

3.5 Laatuvaatimukset

Betonipaalujen laatuvaatimuksista on säädetty Suomen rakentamismääräyskokoelmassa (RakMK) lujuuden osalta ja Suomen geoteknillinen yhdistys ry:n julkaisussa LPO 2005 laajemmin. Lisäksi paalunvalmistajilla ja varustetoimittajilla on omia standardoituja laatujärjestelmiä /10/. Leimet Oy ja Emeca Oy tekevät yhteistyötä muun muassa VTT:n kanssa. Paalunvalmistajat puolestaan noudattavat Inspecta Oy:n rakennustuotteiden tarkastustoimintaa koskevia ohjeita ja sopimuksia sekä voimassaolevia viranomaismääräyksiä ja -ohjeita.

3.6 Mittavaatimukset

Paalujen mittavaatimukset on ilmoitettu LPO-2005 -julkaisussa. Paalujen vaatimuksissa ilmoitetaan sallitut poikkeamat muun muassa paalun pituudessa, poikkileikkauksen sivumitassa, betonipeitteessä, paalun suorudessa, pään vinoudessa sekä jatkospinnat vinoudessa. Mittavaatimukset löytyvät myös valmistajien tuotekorteista (taulukko 1).

Taulukko 1 Betonipaalujen mittavaatimukset, Rudus Betonituote Oy /5/

Poikkileikkauksen sivumitta	Sallittu poikkeama	- 10 mm + 15 mm
Paalun pituus	Sallittu poikkeama	- 100 mm + 150 mm
Betonipeite	Sallittu poikkeama	- 5 mm + 10 mm BY50, kohta 2.5.1.1.
Paalun suoruus	Sallittu poikkeama	0,2 % mittauspisteiden välimatkaa, kuitenkin enintään 40 mm
Paalun pään vinous	Poikkeama enintään	1:100
Paalun osan jatkospinnan vinous	Poikkeama enintään	1:150

Pääterästen etäisyydet paalun päästä saavat poiketa toisistaan enintään 20 mm.

4 VALMISTUS

4.1 Tehtaan yleistiedot

Betonipaalujen valmistuksen esimerkkitehtaana toimii Rudus Betonituote Oy:n Nurmijärven tehdas. Tehtaalla valmistetaan pääasiassa 250 * 250 ja 300 * 300 paaluja sekä muita betonituotteita /9/. Tehtaan (kuva 6) henkilömäärä on noin 30.



Kuva 6 Rudus Betonituote Oy, Nurmijärven tehdas.

4.2 Valmistusprosessi

Paalun valmistuksen päävaiheet ovat massan valmistus, raudoitteen valmistus ja betonointi. Valmistusprosessiin liittyy olennaisesti myös työnaikainen laadunvarmistus, kuten massan laadun tarkkailu. Valun jälkeen paalu on muotissaan kovettumismisajan kunnes paalu on saavuttanut purkulujuutensa. Muotista purun jälkeen paalu siirretään varastoon missä paalut saavuttavat standardinmukaisen lujuutensa.

4.3 Massa

Betonimassan valmistus on automatisoitu kokonaisuudessaan. Massaan vaadittavat raaka-aineet sekoitetaan sekä massan rakennetta valvotaan tietokoneohjatusti. Massan laatua valvotaan säännöllisesti ottamalla koenäytteitä, joiden lujuus mitataan. Rudus Betonituote Oy:n Nurmijärven tehtaassa massanvalmistusyksikkö pystyy kerrallaan sekoittamaan betonia noin 2 m³.

4.4 Raudoitus

Betonipaalujen raudoituksia tehdään sekä käsin että koneellisesti ”robottiraudoituksena”. Käsinraudoituksessa (kuva 7) työryhmä kasaa raudoitteen.

Pääteräkset kiinnitetään asennuspöydälle ja kasassa ollut hakateräs vedetään auki koko raudoitteen matkalle ja kiinnitetään langalla pääteräksiin. Robottiraudoituksessa puolestaan kone pätkii jokaisen hakateräksen omaksi osakseen ja kiinnittää tuotantolinjalla pääteräksiin. Molemmilla tuotantomenetelmillä tulee valmiiseen raudoitteeseen kiinnittää vielä vähimmäisbetonipeitteen mahdollistavat suojavaälit pääteräksiin.



Kuva 7 Käsityönä tehtyjä paaluraudoitteita

4.5 Muotit

Betonipaalut valetaan muottikentässä (kuva 8). Valettavan paalun pituutta voidaan kentässä säätää. Kenttään asetetaan myös tarvittavat varusteet ennen valua. Ennen valua tulee muotti vielä harjata puhtaaksi betonin palasista ja öljytä huolellisesti.



Kuva 8 Muottikenttä ennen valua

4.6 Valu

Betonipaalujen valu suoritetaan muottikentän päällä liikkuvan miehitetyn valuyksikön (kuva 9) avulla. Valmiina oleva betonimassa saapuu kentälle tehtaan katossa kiskolla kulkevan betonikuljetusvaunun kautta. Massa kaadetaan astiasta yksikön läpi haluttuun kohtaan kenttää, tämän jälkeen yksikössä olevat täryttimet tiivistävät muoteissa olevan massan. Kentässä edetään muotti kerrallaan kunnes kaikki paalut on valettu. Työntekijän saatua kentän valmiiksi hän upottaa paaluihin nostolenkit ja varustaa jokaisen paalun tuotekortilla (kuva 10).



Kuva 9 Valukone muottikentän päällä



Kuva 10 Nostolenkit ja tuotekortit valetuissa paaluissa.

4.7 Varastointi tehtaalla

Betonipaalut irtoavat muotista niiden lujituttua varsin vaivattomasti, koska muotti on öljytty. Paalut varastoidaan ulkotiloihin kukin niiden saavutettua riittävän lujuuden.

Varastoon paalut lajitellaan seuraavien kriteerien mukaan:

- laatu (IB tai tyyppihyväksyty)
- paksuus (250 * 250, 300 * 300, 350 * 350 mm)
- pituus (metrin jaolla)
- tyyppi (jatkopaalut, kallio- tai määkärijelliset)

4.8 Laadunvarmistus

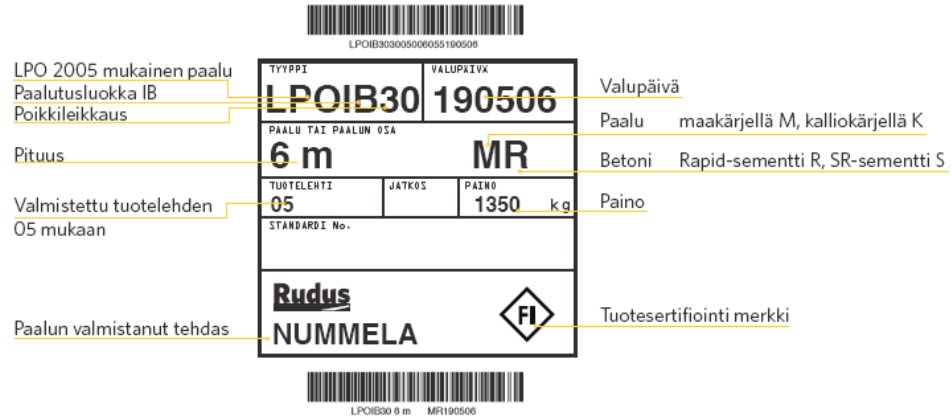
Puristuskokeet

Valmistettavasta massasta otetaan säännöllisesti koenäytteitä, jotka tutkitaan laboratoriossa. Näytteet on valettu 150 mm:n kokoisiksi kuutioiksi, joita koestetaan betonin lujuuden selvittämiseksi. Kuutioiden tulee lujuutensa puolesta kestää yli vaaditun nimellislujuusarvon.

Tuotekortti

Valun jälkeen tuotteeseen asennetaan tuotekortti, josta ilmenevät tärkeimmät työmaalla tarvittavat tiedot paalun tunnistamiseksi ja asentamiseksi oikein.

Tuotekorttiin (kuva 11) on merkitty paalutusluokka, valupäivä, paalun pituus, tyyppi, massa ja valmistuspaikka.



Kuva 11 Betonipaalun tuotekortti /5/

5 PAALUTOIMITUS

Paalujen toimitukseen liittyviä asioita on käsitelty käyttäen esimerkkinä Rudus Betonituote Oy:n ohjeita ja toteutusmalleja.

5.1 Toimituksen käynnistäminen

Toimitus paalutehtaalta käynnistyy tilausvahvistuksessa sovittuna ajankohtana ostajan ilmoituksella siitä, että työmaa on valmis ottamaan vastaan ensimmäisiä paalutoimituksia. Ilmoitus tulee jättää kuormalähettämöön vähintään kolme päivää ennen työmaan arvioitua käynnistymistä. /5/

5.2 Kuljetus työmaalle

Paalujen kuljettamiseen tarvitaan erikoiskalustoa, joten hintaan tavallisesti sisältyvät myös kuormaus tehtaalla, kuljetus ja purku paalutuskoneen ulottuville työmaalla. Myyjä vastaa toimituksesta kunnes kuorma on purettu työmaalla ostajan edustajan osoittamaan paikkaan. Paalun painon ylittäessä 4.300 kg ostaja vastaa kuorman purkamisesta. Kuormaus- ja kuljetusvastuu on tässäkin tapauksessa myyjällä. Kuormatoimitus tapahtuu täysinä kuormina tilausvahvistuksen ja ostajan edustajan ilmoittaman kuormatilauksen mukaisesti. Paalun poikkileikkauksesta riippuu, kuinka monta metriä täyteen kuormaan mahtuu: /5/

Täysi kuorma

250 * 250 mm n. 180 m / 28 tn.

300 * 300 mm n. 125 m / 28 tn.

350 * 350 mm n. 90 m / 28 tn.

Kuormatoimitus vaihtelee välillä 28...31 tonnia johtuen paalun poikkileikkauksesta, pituudesta ja auton kantavuudesta.

5.3 Vastaanotto

Tilaaajan edustaja osoittaa kuorman purkupaikan etukäteen tai sen saavuttua työmaalle. Nostolenkkien kohdalle asetettujen aluspuiden käyttö on suositeltavaa. Pitkät paalut tulee pystyä purkamaan auton molemmin puolin. Purkupaikan leveyden tulee olla vähintään 7 - 8 metriä. Kuljetusauton nosturi (kuva 12) nostaa korkeintaan 1900 kg neljän metrin etäisyydelle ja 2800 kg 2,5 metrin etäisyydelle. Jokaiseen paaluun on kiinnitetty lappu, josta näkyy paalun tyyppi, valmistuspäivämäärä, pituus ja paino. Paalujen laatuvaatimukset on merkitty tuotelehtiin, joihin lapussa on viite. Vastaanottaja tarkastaa kuormatoimituksen silmämääräisesti. Ostajan edustaja kuittaa kuormakirjan toimituksen hyväksymisen merkiksi, minkä jälkeen toimitus on laskutuskelpoinen. Mikäli toimitus ei sisällöltään vastaa sovittua, siitä tulee välittömästi ilmoittaa paalulähtämöön ja tehdä asiasta merkintä kuormakirjaan /5/.



Kuva 12 Paalukuorman kasaus tehtaalla /5/

6 KOHDETYÖMAA

6.1 Kohdetiedot

Kohdetyömaa on Skanska Oy:n Tampereen Ratinanrantaan osoitteeseen Ratinanranta 10 rakentama kahden yhdeksänkerroksisen tornitalon ja kolmen matalamman lamellitalon yhdistelmäkortteli. Kohteeseen valmistuu yhteensä noin 350 asuntoa yhdelle Tampereen kauneimmista paikoista. Kohteeseen valmistuu erikokoisia asuntoja yksiöistä viiden huoneen perheasuntoihin (kuva 13). Ratinanrannasta rakentuu kolmen rakennusliikkeen voimin noin tuhannen asukkaan miljöö. /8/

Pääurakoitsija: Skanska Oy

Maanrakennusurakoitsija: Skanska Infra Oy



Kuva 13 Havainnekuva korttelista valmiina /8/

6.2 Paalutus työmaalla

Työmaalla joudutaan paaluttamaan (kuva 14) perustuksia runsaasti. Työssä käytetään pääasiallisesti 300 * 300 mm IB -teräsbetonipaaluja, jotka ovat Rudus Betonituote Oy:n valmistamia. Paalutuskone on Junttan PM 20. Paalutustyöryhmänä on koneenkuljettaja sekä apumies. Mittaustyöryhmän vahvuus on kaksi mittaajaa. Työmaa on haastava erityisesti pohjaolosuhteiltaan, sillä aluetta rakennetaan osittain

täyttömaan päälle, kun vanhaa Pyhäjärven pohjaa on otettu käyttöön sekä tonttimaaksi että uutta rantaviivaa kulkevalle kevyen liikenteen väylälle (kuva 15).



Kuva 14 Ratinanranta 29.4.2008



Kuva 15 Ratinanranta 19 asemapiirros /8/

7 PAALUTUSTYÖ

7.1 Vastaanotto ja välivarastointi

Paalut puretaan kuljetusajoneuvosta paalutuskoneen viereen välivarastoon tai asennetaan suoraan kuormasta. Paaluja nostetaan vain merkityistä nostokohdista. Tärkeää on vastaanotettaessa tarkastaa paalujen suunnitelmanmukaisuus ja kunto. Paaluissa ei saa ennen lyöntiä esiintyä poikittaista halkeamaa, jonka pituus on yli puolet paalun poikkileikkauksen piiristä ja jonka leveys on suurempi kuin 0,2 mm. Paaluissa on saa myöskään olla pituussuunnassa yli 0,2 mm levyistä ja yli 200 mm pitkää halkeamaa. /4/

Betonipaalut välivarastoidaan paalutuskohteen viereen tasaiselle alustalle päällekkäin kahden tuen varaan siten, että paalujen kärjet ovat poispäin paalutuskoneesta. Tuet asetetaan paalujen alle valmistajan ohjeiden mukaisesti. Rudus Betonituote Oy:n paaluissa tuet sijoitetaan viidesosan päähän paalun pituudesta paalun päistä mitattuna. /4/

7.2 Aloittavat työt

Aloitusedellytysten varmistaminen

Ennen paalutuksen aloittamista tulee järjestää aloituspalaveri. Palaverissa käydään läpi muun muassa: /2/

- aikataulu
- kaluston, työvoiman, materiaalien ja tarvikkeiden saatavuus
- suunnitelmat ja laatuvaatimukset
- työ- ja ympäristöturvallisuus
- kaluston sopivuus työkohteeseen
- varastoinnin suunnitelmanmukaisuus

Lisäksi tarkistetaan töitä koskevat viranomais määräykset, paikalliset järjestyssäännöt sekä varmistetaan, että asianmukaiset luvat on hankittu ja voimassa.

Paalutustyötä johtamaan nimetään paalutustyönjohtaja, joka voi olla rakennustyön vastaava työnjohtaja tai erikseen hyväksytty erityisalan työnjohtaja /3/.

Paalutustyönjohtaja hoitaa paalutustyön tarkastukset, tekee tarpeelliset muistiinpanot ja huolehtii paalutuspytäkirjan asianmukaisesta täyttämisestä.

Paalutustyön arvioidulla vaikutusalueella sijaitseville rakennuksille ja rakenteille järjestetään katselmukset niiden kunnon ja suojaustarpeen arvioimiseksi. Katselmuksessa on suositeltavaa valokuvata tai kirjata jo ennen paalutustyötä olemassa olevat vauriot. Ennen töiden aloitusta tulee myös selvittää paalutusalueella olevien putkien, johtojen, kaapeleiden ja laitteiden sijainnit. Lisäksi tulee katkaista sähkö, kaasu ja vesi paalutuksen vaikutusalueella. /2/

Työntekijät tulee perehdyttää asianmukaisesti työtehtäviinsä. Työntekijöille on tärkeää selvittää työssä käytettävät laatuvaatimukset, niiden varmistustoimet ja yleinen työvaiheeseen liittyvä työturvallisuus.

7.3 Paikalleen mittaus ja merkintä

Paalulinjat ja paalupaikat mitataan yleisimmin takymetrillä tai vaihtoehtoisesti teodoliitilla tai luotilangalla ja mittanauhalla /2/. Paalujen paikat merkitään maahan esimerkiksi puutapeilla tai suihkemaalilla (kuva 16).



Kuva 16 Paalun paikka merkitty suihkemaalilla maahan

7.4 Paalutus

Paalun siirtäminen paalutuskoneeseen

Betonipaalun yläpään merkittyyn nostokohtaan kiinnitetään nostoketjut, ja paalu vedetään paalutuskoneen vetovaijerilla välivarastosta paalutuskoneen viereen. Nostokohta on merkitty paaluun merkklauslapulla. Paalu nostetaan pystyyn (kuva 17) ja sen pää sovitetaan paalujohteeseen. Paalun päähän lasketaan tavallisesti iskutyyny, joka välittää iskuvoiman tasaisesti ja keskeisesti paaluun. Paalun lopullinen asema ja kaltevuus säädetään. Samalla tarkastetaan myös paalun tuenta ja ohjaus sekä käytettävän järkäleen pudotuskorkeus ja massa /2/.



Kuva 17 Paalun nostaminen paalutuskoneeseen

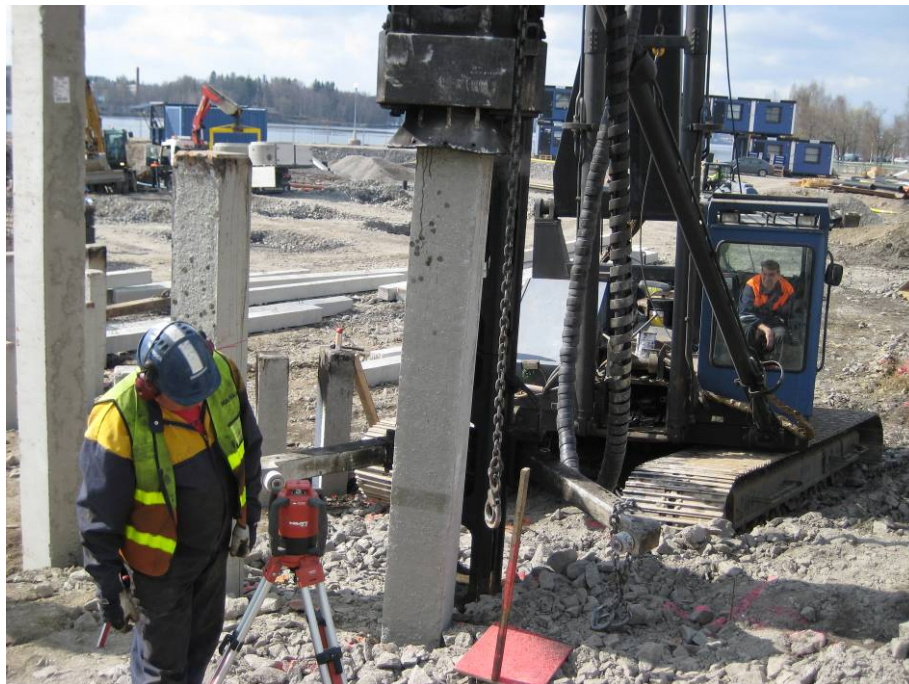
Lyönnit

Paalut lyödään maahan asennussuunnitelman mukaisesti sovitussa järjestyksessä tietyllä järkäleellä ja pudotuskorkeudella. Paalu saa painua lyöntiä kohti korkeintaan 150 mm. Paalun ehjänä säilymiseen kiinnitetään erityistä huomiota, sillä suuret tunkeutumistilastusten muutokset viittaavat usein paalun alapään rikkoutumiseen.

Lyötäessä pehmeän maakerroksen läpi tulee pudotuskorkeuden olla pieni. Jos paalu painuu omasta painostaan tai järkäleellä kuormitettuna, lyöntejä ei saa käyttää lainkaan. Lähestyttäessä kalliota tai kivistä tai lohkarista kerrosta, tulee hydraulijuntan iskulukua pienentää. Paalun kohdatessa ison kiven sen painuminen loppuu äkkiä ja iskun aiheuttama ääni muuttuu. Lisäksi järkäle ja paalu pomppivat voimakkaasti iskun jälkeen. /2/

Lyönnin lopettaminen

Kun paalun kärki on lähellä pohjatutkimuksen tavoitetasoa, voidaan aloittaa ns. loppulyönnit (kuva 18). Ennen loppulyöntejä paalutuksessa ei saa pitää taukoja ja loppulyönnit lyödään keskeytyksettä. Nostoketjut irrotetaan ennen loppulyöntejä /2/. Tukipaalujen loppulyönnit aloitetaan, kun tukipaalu ulottuu kiinteään pohjamuodostumaan. Tämä ilmenee paalun painumisen selvänä vähenemisenä. Loppulyönneillä varmistetaan paalun suunnitelmienmukainen kantavuus. Paalukohtainen lyöntien kokonaismäärä ei saa ylittää 5000 lyöntiä, sillä tämän jälkeen paalussa alkaa ilmetä väsymystä. Loppulyöntien painumat mitataan ja merkitään näkyviin sekä paaluun, että paalutuspöytäkirjaan. Rikkoutuneet paalut ja paalut, jotka poikkeavat sijainniltaan enemmän kuin asiakirjoissa on sallittu, korvataan suunnittelijan määräämällä tavalla. /2/ Paalua ei saa katkaista, ennen kuin paalun kantavuus on varmistettu.



Kuva 18 Loppulyönnit käynnissä

Kalliopinnat

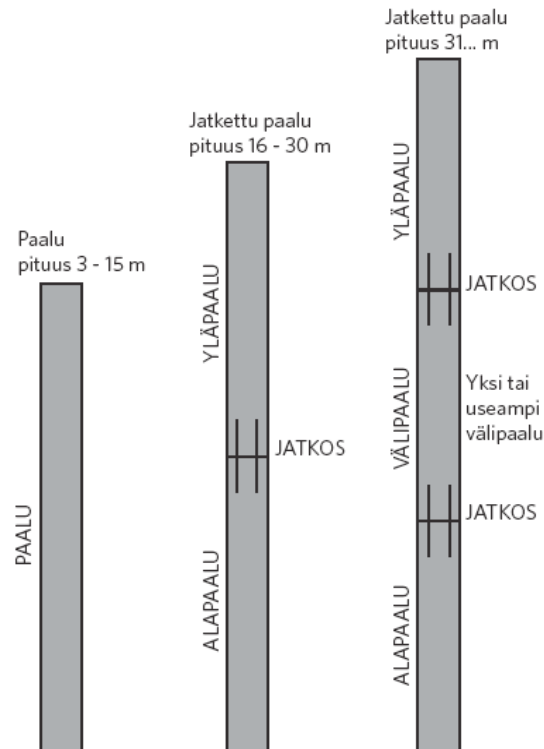
Kaltevaan kalliopintaan ulottuvissa betonipaaluissa käytetään kalliokärkeä.

Kalliokärjen kärkitappi lyödään suunnitelmienmukaisilla lyöntimäärillä kalliioon.

Kalliopintaa lähestyttäessä pienennetään pudotuskorkeutta tai iskulukua paalun särkymisen estämiseksi. /4/

Paalujen jatkaminen

Betonipaalut varustetaan jäykkäjatkoksilla. Jatkos tulee alapaalua lyötäessä olla varustettu suojalevyllä. Alapaalu lyödään maahan kuten edellä, mutta paalua jätetään näkyviin noin metri maanpinnasta. Tämän jälkeen jatkopaalu nostetaan pystyyn ja paalujatkoksen sovituskappaleet asetetaan yhteen. Paalujatkos lukitaan jatkostyyppistä riippuen joko kiritysruuveilla tai lukkopulteilla. Tämän jälkeen jatkopaalu lyödään maahan./4/ Jatkoksia voi olla paalussa useampia (kuva 19).



Kuva 19 Havainnekuva paalujen jatkamisesta /5/

Paalun katkaisu

Paalu katkaistaan paljastamalla pääteräkset esimerkiksi piikkaamalla ja katkaisemalla teräkset kulmahiomakoneella. Paalu katkaistaan lekalla tai sahalla ja katkaisukohta piikataan vaakasuoraksi. Teräkset saatetaan vielä piikata esiin paalun anturatarunnoiksi /2/. Nykyisin katkaisuun käytetään myös timanttilaikalla varustettua kulmahiomakonetta (kuva 20). Katkaistava osa irrotetaan lyömällä teräskiila sahattuun saumaan.



Kuva 20 Paalun katkaisu

Lopputarkastus

Paalutustyö tarkastetaan ennen luovutusta. Rakennusalueen, ympäröivien rakenteiden ja ympäristön tulee olla luovutettaessa sopimusasiakirjojen mukaiset. Paalutustöiden tarkastusasiakirjat toimitetaan tarkastusviranomaiselle ja rakennuttajalle /2/.

7.5 Laadunvarmistus

Paalutustyön aikana paalutustyönjohtaja tarkastaa ja valvoo paalujen käsittelyä, suunnitellun sijainnin toteutumista, maahanlyönnin suoritustapaa, iskukorkeutta ja loppulyöntitapahtumaa. Kaikki tarpeelliset havainnot merkitään paalutuspöytäkirjaan. Paalutustyön jälkeen laaditaan toteumapiirustus, johon merkitään paalujen sijainnit yksityiskohtaisesti. Paaluista tarkastetaan tarvittaessa eheys, paikallaan pysyminen, nousu ja kaltevuus. Paalujen eheyden tarkastamista varten saattaa paaluissa olla

tarkastusputket. Mahdollinen nousu tarkastetaan vaaitsemalla paalujen yläpäiden korkeusasema. Kantavuus puolestaan tarkistetaan tarkastus- ja jälkilyönneillä. /4/

7.6 Paalutuspöytäkirja

Paalutustyönjohtaja pitää paalutuksesta pöytäkirjaa johon merkitään seuraavat asiat:

/4/

- Työmaan tiedot
- Käytetyt paalut
- Paalutuskalusto
- Lyöntien määrä
- Paalun lyöntikäyttäytyminen
- Paalujen sijainti
- Tarkastus- ja jälkipaalutus
- Paalukohtaiset pöytäkirjat tarvittaessa (koepaalut, koekuormittavat paalut)

7.7 Geoteknisen kantokyvyn ja ehjyyden mittaus

Dynaamiset koekuormitukset (PDA)

Dynaamisessa koekuormituksessa rekisteröidään paaluun järkäleen iskusta aiheutunut iskuaalto. Näin voidaan mm. määrittää geotekninen kantokyky sekä arvioida paalun ehjyyttä. Paalutusluokassa IB loppulyöntiohjeet tarkistetaan dynaamisen koekuormituksen avulla. Niitä tulee tehdä vähintään 5 %:lle paaluista. Mittauslaitteistoon kuuluu keskusyksikkö (kuva 21), sekä sensorit (kuva 22), jotka kiinnitetään paalun kylkeen ennen koekuormituksen aloittamista. /4/



Kuva 21 PDA –keskusyksikkö

PDA-mittauksilla määritelty geoteknisen kantokyvyn arvo ei ole aivan absoluuttinen ja yksiselitteinen. PDA-mittauksessa mitataan maasta paaluun kohdistuvaa kokonaislyöntivastusta, josta mittauksen suorittaja tulkitsee tai määrittää maasta paaluun kohdistuvan staattisen vastuksen. Geotekninen suunnittelija määrittää PDA-mittausraportin ja muiden käytettävissä olevien tietojen avulla paalun geoteknisen murto kuorman tai sille sallittavan maksimikuorman. /4/



Kuva 22 PDA-sensorit paalun pinnassa

Ehjyysmittaukset

Ehjyysmittaukset tehdään useimmiten iskuaaltoteoriaan perustuvalla Low Strain-menetelmällä, jossa iskuaalto saadaan aikaan käsivasaralla. Suomessa käytetyt yleisimmät kaupalliset lyhenteet ovat PET, PIT ja SIT. On suositeltavaa, että kaikkien lyötyjen paalujen ehjyys mitataan. Menetelmällä on mahdollista havaita vain suuret vauriot, lisäksi menetelmä on käyttökelpoinen vain jatkamattomilla paaluilla. /4/

8 PAALUTUSVIDEO

8.1 Kalusto

Kuvauskalustona oli Tampereen ammattikorkeakoulun Rakennusosaston Mini-DV – videokamera. Videon editointiin käytettiin Adobe Premiere Pro 1.5 -editointiohjelmaa.

8.2 Kuvauskohteet

Paalun valmistusta ja varastointia on kuvattu Rudus Betonituote Oy:n Nurmijärven tehtaalla 30.4. ja 5.6.2008. Paalujen asennusta, välivarastointia ja muita oheistoimintoja on kuvattu Skanska Oy:n Tampereen Ratinanrantaan rakentuvalla kerrostalotyömaalla 29.4.2008, sekä paalun katkaisua Elovainion kauppakeskuksen työmaalla Ylöjärvellä 24.10.2008.

8.3 Videon tarkoitus

Videon tarkoitus on toimia toisaalta paaluteollisuuden esittelyvideona, toisaalta Tampereen ammattikorkeakoulun rakennustekniikan opetusvideona pohjarakennukseen liittyvien opintojaksojen yhteydessä. Videon tarkoitus on esitellä paalutukseen ja paalujen valmistukseen liittyvät asiat kiinnostavasti, säilyttäen pedagogisen sisällön. Videon on tarkoitus lisätä tietämystä paalutukseen liittyviin asioihin rakennusalan opiskelijoiden keskuudessa.

9 YHTEENVETO

Paaluihin liittyvät asiat saattavat kauempaa tarkasteltuna vaikuttaa helpoilta ja yksinkertaisilta. Totuus on kuitenkin se, että myös paalujen valmistus ja asentaminen työmaalla ovat monimutkaisia ja haasteellisia prosesseja, joissa on paljon huomioonotettavia seikkoja. Nykyajan teknologiset apuvälineet valmistuksessa, paalutuksessa ja laadunvarmistuksessa ovat tulleet avuksi, mutta eivät poistaneet rakentajien vastuuta tekemästään työstä ja suorittamistaan mittauksista. Paalujen suhteen tulee ottaa huomioon, että tuote on laadukas, standardit täyttävä ja suunnitelmien mukainen tehtaalla ja edelleen maahan lyötynä työmaalla.

Tämän opinnäytetyön kirjallinen osuus sisältää samoja paalutukseen liittyviä asioita kuin työhön liittyvä opetusvideo. Kirjallinen osuus toimii tarvittaessa myös videota täydentävänä materiaalina. Video on ennen kaikkea vastaus opetuksen ja teollisuuden tarpeisiin. Videon pituus on noin 20 minuuttia.

Tämän opinnäytetyön tekeminen on ollut erittäin haastavaa, mutta myös samalla todella kiinnostavaa. Työn kautta olen päässyt tutustumaan paalutukseen paljon yksityiskohtaisemmin kuin muuten rakennuskoulutuksen kurssitarjonnassa olisi mahdollista. Työn avulla olen saanut hyvän tietämyksen ja monipuolisen pohjan rakennushankkeiden paalutuksen perusteisiin, josta on minulle varmasti paljon hyötyä työurallani.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

- 1 Jääskeläinen, Raimo, Pohjarakennuksen perusteet. Tammertekniikka. Tampere 2005. 168 s.
- 2 Ratu 14-0250, Paalutus, Ratu-kortisto. Rakennustieto Oy. Helsinki 2003. 10 s.
- 3 RIL 121-2004, Pohjarakennusohjeet. Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Helsinki 2004. 137 s.
- 4 RIL 233-2005, Lyöntipaalutusohje LPO-2005. Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Helsinki 2005. 134 s.
- 5 Rudus Betonituote Oy. Paalut-tuotemappi 2007–08. 42 s.

Painamattomat lähteet

- 6 Kulmala, Hannele. Pohjarakennus R-1073-kurssimateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere 2008.

Sähköiset lähteet

- 7 Emeca Oy [www-sivu]. [viitattu 28.4.2008] Saatavissa: <http://www.emeca.fi/matsku>
- 8 Skanska Oy [www-sivu]. [viitattu 28.4.2008] Saatavissa: <http://www.skanska.fi>
- 9 Rudus Oy [www-sivu]. [viitattu 28.4.2008] Saatavissa: <http://www.rudus.fi>
- 10 Leimet Oy [www-sivu]. [viitattu 28.4.2008] Saatavissa: <http://www.leimet.fi>