

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Marko Määttä

KERROSTALON PAALUTUS

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2014



OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2014
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. 013 2606800

Tekijä(t)
Marko Määttä

Nimeke
Kerrostalon paalutus

Toimeksiantaja
YIT Rakennus Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kahta eri paalutusohjetta. Vanhempi ohje on nimeltään Lyöntipaalutusohje 2005 (LPO-2005) ja uudempi versio on nimeltään Paalutusohje 2011 (PO-2011). Uusi ohje otettiin käytettäväksi 1.7.2013 jälkeen suunniteltavissa paalutustöissä. Opinnäytetyössä tutkittavat asiat painottuivat paalutuksen kustannuksiin ja työnjohdon tehtäviin.

Vertailun lähtötietoina oli Asunto-osakeyhtiö Joensuun Rantakiven suunnitelmat, pohjatutkimus ja toteutus. Erikoisuutena kohteessa oli vesistön läheisyys. Vesistön ja paalutettavan alueen välissä on kevyenliikenteenväylä, joka on tehty vesistön päälle ajamalla kivilouhetta jokeen. Pengerryksen seuranta oli olennaisena osana paalutuksen aikana tehtävistä seurantamittauksista.

Opinnäytetyön tuloksina ovat paalutuksen kustannusten jakautuminen, prosentuaalinen osuus hankkeen kokonaiskustannuksista, paalutusohjeiden vertailuraportti ja PO-2011 mukaiset paalutuspöytäkirjat. Paalutuspöytäkirjoista yleinen osa on Word-tiedosto ja paalukohtainen osa on excel-tiedosto.

Kieli
suomi

Sivuja 54
Liitteet 14
Liitesivumäärä 24

Asiasanat
paalutus, eurokoodi, tukipaalu ja tärinä



THESIS
March 2014
Degree Programme in Civil Engineering
Karjalankatu 3
80220 JOENSUU
FINLAND
0132606800

Author(s)
Marko Määttä

Title
Piling of the block-house

Commissioned by
YIT Construction Ltd.

Abstract

In this thesis was researched of two different piling manuals. The older one is called "Lyöntipaalausohje 2005" and the newer version is called "Paalausohje 2011". Projects, which are designed after 1.7.2013 must be carried out with the new manual. Research in this thesis concentrated in the costs of the piling and the tasks of the site management.

The output data of the comparison based on information of soil investigation, structural plans and realized information of the pile driving of the housing stock company of Joensuu's Rantakivi. Special feature for this project were the river systems nearness. In between the piling area and the river system there goes a pedestrian and cycle route. The Route has been made of blast stones. During the pile driving routes tracking with daily measurements were very important part of the tracking measurements.

Main results in this thesis were divide of the costs, pile drivings percentage of the total costs of the project, comparison report of manuals, two piling minutes the generalpart and the pole-specific . These minutes were made according to newer piling manual. The generalpart is a word-file and the pole-specific minutes is an excel-file.

Language
Finnish

Pages 54
Appendices 14
Pages of Appendices 24

Keywords

Piling, eurocode, support pile and shake

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Paalutus	8
2.1	Ohjeiden arvojärjestys	9
2.2	Paalutuksen ohjeet kohteessa	9
2.3	Paalujen luokitus	9
2.4	Pohjatutkimukset	10
2.5	Paalujen toimintatapa	12
2.6	Paalujen valmistus	13
3	Suunnittelun kulku	19
3.1	Suunnittelun kulku LPO 2005:n mukaan	19
3.2	Paalutyypin valinta	20
3.3	Paalutusluokan valinta	20
3.4	Paalujen ulkoiset kuormitukset	21
3.5	Paalun geotekninen mitoitus	25
3.6	Paaluryhmien geotekninen mitoitus	28
3.7	Ympäristön huomioon ottaminen	29
3.8	Teräsbetonipaalun rakenteellinen mitoitus	30
3.9	Rakennesuunnittelu	30
3.9.1	Paalu, -ryhmä ja -antura	31
3.9.2	Paalujen sijainti	33
3.10	Pohjarakennesuunnitelma	33
4	Paalutustyön toteutus	34
4.1	Paalutustyönjohtajan kelpoisuus ja tehtävät	34
4.2	Paalutuskalusto	37
4.3	Paalujen asennus	38
4.4	Laadunvarmistus ja työturvallisuus	40
5	Kustannukset	41
6	PO-2011 mukainen paalutus	42
6.1	Suunnittelujärjestelmä	42
6.2	Geotekninen luokka	43
6.3	Pohjatutkimus	43
6.4	Suunnittelu	44
6.4.1	Paalun geotekninen kestävyys	45
6.4.2	Paalun rakenne	48
6.5	Paalutustyön toteutus	50
7	Tulokset	51
7.1	Työntulokset	51
7.2	Vertailu	54
8	Pohdinta	54
	Lähteet	56

Liitteet

Liite 1	Otteita paalutuspiirustuksesta
Liite 2	Rantaraitin tarkkailu mittauksia
Liite 3	Tarkemittaus ja paaluluettelo 1-55 ja 254-282

Liite 4	Paalutuskohteen ohje
Liite 5	Aloituspalaveri muistio
Liite 6	Käyttöönottotarkastus paalutuskone
Liite 7	Kaivuleikkaus KL2
Liite 8	Paalutuspöytäkirjat 1-3
Liite 9	Paalujen tarkepiirustus
Liite 10	Dynaamisen koekuormituksen kulku
Liite 11	Standardin SFS-EN 1990 mukaiset seuraamusluokat
Liite 12	Tutkimusraportti
Liite 13	Paalutuspöytäkirja yleinen osa, malli
Liite 14	Paalukohtainen pöytäkirja, malli

1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutkittiin paalutustyötä. Paalutustyöt tehdään tulevaisuudessa uuden ohjeen mukaan. Ohje perustuu eurooppalaisiin standardeihin ja ohjeisiin. Näin määräykset, normit ja ohjeet, jotka ohjaavat paalutustyötä, on jouduttu päivittämään uudelleen. Edellinen päivitys teräsbetonipaaluihin tehtiin vuonna 2005. Tällöin ohjeen nimi oli Lyöntipaalutusohje 2005 LPO-2005. Nyt uusin versio on tehty 2011 ja sen nimi on Paalutusohje 2011 PO-2011.

Tämän työn tarkoitus on vertailla LPO-2005:tä ja PO-2011:tä. Vertailu tehdään YIT Rakennus Oy:n kohteesta, joka sijaitsee Joensuun Penttilän rannassa. Kohteen paalutuksen toteutuksessa käytettiin Lyöntipaalutus 2005 -ohjetta. YIT Rakennus Oy on siirtymässä käyttämään uusissa kohteissa Paalutusohje 2011:tä. Luulisin, että opinnäytetyöstä on hyötyä YIT:lle tulevaisuudessa. Kuvassa 1 kohde on kuvattu Pielisjoelta katsottuna.



Kuva 1. Asunto Oy Joensuun Rantakivi, Lähde: Rakennusselostus

Alla on luettelo Asunto Oy Joensuun Rantakiven tiedoista

- rakennuttaja: As Oy Joensuun Rantakivi/ YIT Rakennus Oy
- osoite: Penttilänkatu 31 80220 Joensuu
- 34 asuntoa ja kellariin autohalli
- kerrosala: 3335 m²
- tilavuus: Talo A 6553 m³, Talo B 5687 m³ ja autohalli 2675 m³
- valmistuu: 5/2015
- arkkitehtisuunnittelu: Kirsti Sivén & Asko Takala Arkkitehdit Oy
- rakennesuunnittelu: Insinööritoimisto Kantelinen Oy
- pääurakoitsija: YIT Rakennus Oy
- paalutusurakoitsija: Niskasen Maansiirto Oy
- maanrakennusurakoitsija: Maanrakennus Leivo Oy
- sähköurakoitsija: E-V Sähkö Oy
- putkiurakoitsija: LVI – Jomutek Oy.

Opinnäytetyö rajaus tehdään kohteen As Oy Joensuun Rantakiven tietoihin, suunnitelmiin ja toteutukseen.

2 Paalutus

Paaluperustuksia käytetään, jos rakennuksen tai rakenteen perustaminen maan varaan ei painumien, siirtymien, kiertymien tai jonkin muun syyn, kuten ympäristössä olevien rakennusten sijainnin tai perustustapojen vuoksi ole mahdollista (Jääskeläinen 2009, 52.)

Paaluperustusten suosio on kasvanut, koska nykyään rakennetaan suurimmissa määrin isojen kaupunkien ympärille ja ns. hyvät rakennuspaikat alkavat loppua. Näin ollen joudutaan rakentamaan maaperälle, jossa ei ilman paaluperustusta pärjätä. Tämä ilmiö on tullut osaksi myös omakotirakentajille eikä vain ja ainoastaan rakennusliikkeille, jotka rakentavat kerrostaloja. Ruuhka-Suomen alueella rakennetaan jo paljon omakotitaloja paaluperustusten varaan. Täällä Itä-Suomessa on pientalorakentajille vielä paljon tontteja, joissa ei tarvita paaluperustuksia, mutta kerrostalotontit ovat monesti sellaisilla alueilla, missä tarvitaan paaluperustuksia.

Teräsbetonipaaluja käytetään vuosittain n. 1500 km. Teräsbetonipaalujen yleisimmät koot ovat 180*180 cm², 250*250 cm², 300*300 cm² ja 350*350 cm². 300*300 cm² on tällä hetkellä valta-artikkeli paalujen käytössä. Sen osuus teräsbetonipaalujen käytöstä on noin 70 % (Jääskeläinen 2009, 53.)

Nykyään käytetään teräsbetoni- ja teräspaaluja puupaalujen sijaan. Puupaaluja käytetään enää tienrakennuksessa, sielläkin vain sopivissa kohteissa (Jääskeläinen 2009, 52). Puupaalujen kestävyys maan alla perustuu siihen, että ne ovat koko ajan veden alla. Ne eivät saa olla tekemisissä hapen kanssa, muuten ne rupeavat lahoamaan. Tämä on ongelma kaupungeissa, joissa rakennetaan uutta sellaisille alueille, joissa lähitalot on perustettu puupaalujen varaan. Uusiin taloihin rakennetaan kellareita ja ne salaojitetaan, jolloin seurauksena on pohjaveden pinnan lasku. Pohjaveden pinnan laskun seurauksena puupaalujen päät jäävät vedenpinnan yläpuolelle ja paaluperustus rupeaa lahoamaan.

2.1 Ohjeiden arvojärjestys

Kohteen suunnittelun ajankohtana Suomessa on ollut seuraava arvojärjestys määräyksissä, minkä mukaan työ toteutetaan:

1. Maankäyttö ja rakennuslaki
2. Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMk B4 Betonirakenteet B1 Rakenteen varmuus ja kuormitukset)
3. Normit (by50 Betoninormit)
4. Ohjeet (LPO-2005, PO-2011 korvaa LPO-2005).

2.2 Paalutuksen ohjeet kohteessa

Kohteen paalutus on suunniteltu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B4 mukaan. Lyöntipaalutusohje LPO 2005 pohjautuu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan ja osaltaan eurooppalaiseen standardiin SFS-EN 12699 Pohjarakennustyöt – Maata syrjäyttävät paalut, (EN 12699 Execution of special geotechnical works – Displacement Piles). Geotekninen suunnittelu tehdään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B3:n (Pohjarakenteet, Määräykset ja ohjeet) mukaan. Teräsbetonipaalujen valmistus tehdään tuotestandardin EN 12794 Precast concrete products – Foundation Piles (Betonivalmisisat – Lyöntipaalut) mukaan (LPO 2005, 2005, 10.)

2.3 Paalujen luokitus

Paalujen materiaalina käytetään puuta, terästä ja teräsbetonia. Paalut jaetaan teräsbetoni-, puu-, suur-, teräs- ja pienpaaluihin.

Teräsbetonipaalut ovat yleisimpiä asunto-, toimisto- ja liiketilarakentamisessa. Teräsbetonista ja puusta tehtyjä lyöntipaalutuksia ohjaa LPO-2005. Teräsbetoniset paalut asennetaan yleensä lyömällä niitä hydraulisella vasaralla (Jääskeläinen 2009, 52–53.)

Puupaalujen materiaalina käytetään mäntyä ja kuusta. Käytettävän puun tulee olla tervettä, lahoa saa olla kiinteinä laikkuina tai juovina, oksat on leikattava pois pintaa myöten. Puunkuori kuoritaan pois kokonaan koheesio paaluista ja tuki- ja kitkapaalusta vain anturan kohdalta. Puupaalujen jatkaminen tehdään paalun pituuden mennessä yli 14 metrin. Paaluanturan korkeusaseman määrää pohjaveden pinta eli paalujen tulisi olla koko pituudeltaan veden alla. Sen takia on suositeltavaa käyttää puupaaluja lyhytaikaisissa rakenteissa, kuten telineissä (Jääskeläinen 2009, 90-91.)

Suurpaalutusta ohjaa suurpaalutusohje SPO–2001. Suurpaalut ovat halkaisijaltaan vähintään 300 mm ja niiden kantavuus on 1500 kN tai enemmän ja niillä on hyvä taivutusvastus. Suurpaaluja käytetään yleensä tukipaaluina, koska silloin niistä saadaan suurin hyöty. Suurpaalutus muotoja ovat kaivin-, Franki-, Vibrex- ja teräsputkipaalutus. Suurpaalutusta käytetään yleensä siltatyömailla, satamarakentamisessa, teollisuusrakentamisessa (Jääskeläinen 2009, 95-101.)

Pienpaalutus toteutetaan pienpaalutusohjeen PPO–2007 mukaan. Ohje käsittelee paaluja, joiden halkaisija on alle 300 mm ja paalut ovat metallisia putkia. Pienpaalutukset soveltuvat hyvin esimerkiksi kellaritilojen lisäpaalutuksiin, koska ne aiheuttavat vähemmän maan häiriintymistä muihin paalutustapoihin verrattuna. Pienpaalut suunnitellaan yleensä tukipaaluiksi, silloin niistä saadaan suurin hyöty. Pienpaalutyyppejä on lyönti-, pora-, puristus- ja injektoidut paalut (Jääskeläinen 2009, 106 – 119.)

2.4 Pohjatutkimukset

Pohjan riittävän seikkaperäinen tutkiminen suoritetaan aina rakennushankkeeseen ryhtyessä. Pohjatutkimuksella selvitetään perustamistapa, jonka mukaan suunnitellaan perustusrakenteet ja niiden suoritustapa (LPO 2005, 2005, 23.) Tutkimuksen tavoitteena on, että pystytään määrittämään paaluryhmien ja yksittäisten paalujen toimintatapa ja mitoitusarvot riittävällä luotettavuudella (LPO 2005, 2005, 25).

LPO-2005:n mukaan, pohjatutkimuksen suoritustapaa ohjaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osa B3, voimassa olevat kansalliset asiakirjat ja standardi EN 1997-1.

Pohjatutkimus on tehtävä tapauskohtaisesti oikeilla menetelmillä ja se on vietävä riittävän syvälle, että pystytään tutkimaan maakerrostumat, joilla on vaikutusta kyseessä olevan kohteen rakentamiseen. Kun suunnitellaan tukipaalujen varaan, niin luotettavin menetelmä pohjatutkimuksissa on heijarikairaus. Pohjatutkimuksen laajuus on paalun pituuden verran paalutuksen ulkopuolelle (LPO 2005, 2005, 23-26).

Pohjatutkimuksen yhteydessä selvitetään paaluihin kohdistuvat ympäristörisi-
tukset. Paalun betonille määrätään ympäristörisitusluokka. Tutkimuksista saatu tieto esitetään raportissa ja piirustuksissa (LPO 2005, 2005, 24.) Pohjatutkimus-
raportissa esitettävät asiat LPO 2005:n mukaan ovat

- maanpinnan korkeus kaikissa tutkimuspisteissä sidottuna johonkin tunnettuun korkeusjärjestelmään
- täytemaakerrosten paksuus, laatu ja läpäistävyys
- pehmeiden, löyhien tai häiriintymisalttiiden maakerrosten sijainnit ja ominaisuudet
- paaluja asennettaessa tiivistyvät maakerrokset
- jokaisen mahdollisen kantavan kerrostuman sijainti ja paksuus
- tiedot suurista kivistä, lohkareista tai muista paalutustyötä vaikeuttavista ja paaluja vaurioittavista esteistä, jotka voivat vaatia erityisiä työkaluja läpäisyyn tai poistamiseen
- sellaisten maakerrosten sijainnit, laajuudet ja paksuudet, jotka ovat herkkiä paalutustyön tiivistävästä tai tärstävästä vaikutuksesta johtuvalle veden suotautumiselle tai huokosvedenpaineen kohoamiselle
- orsi- ja pohjavedenpintojen eri tasot vaihtelualueineen sekä tiedot paineellisesta pohjavedestä
- tiedot erityisen vettä johtavista kerroksista
- selvitys maaperän tai pohjaveden aggressiivisuudesta, mikäli on epäiltävissä, että se on poikkeuksellisen suurta ja voi siten vaikuttaa haitallisesti paalujen betoniin ja teräksiin

- tiedot jätetäytöistä ja saastuneista maakerroksista.

2.5 Paalujen toimintatapa

Paalut jaetaan toimintansa mukaan kolmeen luokkaan:

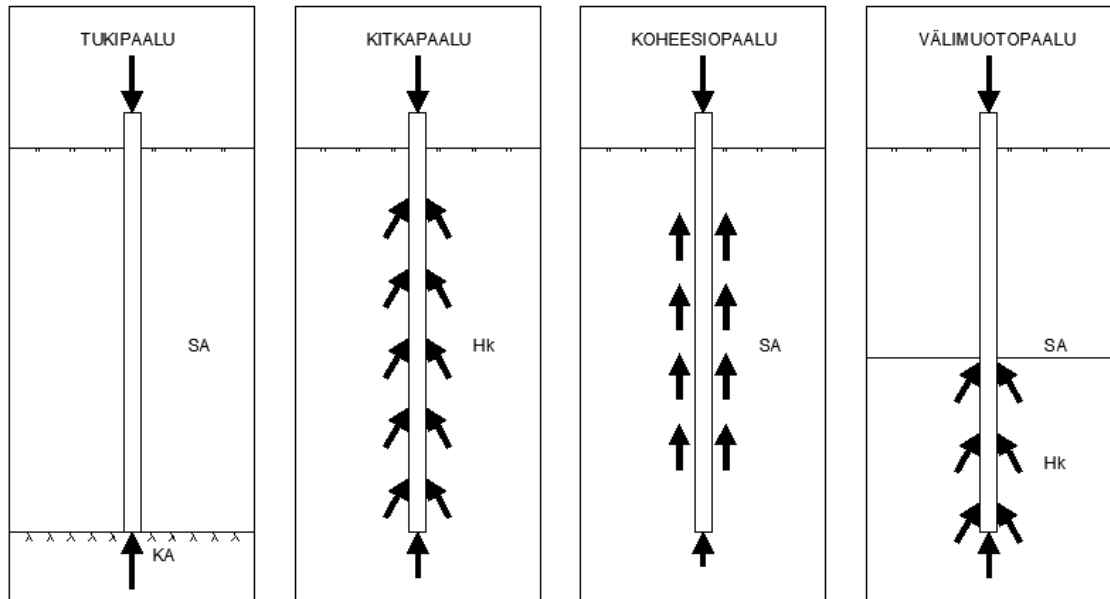
- tukipaalut
- kitkapaalut
- koheesiopaalut
- (vedetyt paalut).

Tukipaalu on kiinni kalliossa tai tiiviissä maaperässä. Näin ollen paalu siirtää kuormia kärjen kautta eteenpäin (Jääskeläinen 2009, 53). Tukipaaluja käytettäessä heijarikairaus on luotettavampi tapa määrittää pohjakerrostumia verrattuna painokairaukseen. Porakonekairausta käytetään, kun tukipaalut suunnitellaan kallioon tukeutuviksi. (LPO 2005, 2005, 26.)

Kitkapaalun toiminta perustuu sen vaipan ja maaperän väliseen kitkaan (Jääskeläinen 2009, 53). Pohjatutkimuksessa on selvitettävä maakerrosten väliset rajat, niiden rakeisuudet ja rakenteellinen tiiveys (LPO 2005, 2005, 26).

Koheesiopaalu siirtää kuormansa koheesiomaakerrokseen vaippapinnallaan syntyvän adheesion välityksellä (Jääskeläinen 2009, 53). Koheesiopaaluja määritettäessä tavanomaisen pohjatutkimuksen lisäksi määritellään pehmeiden maakerrosten lujuus ja muodonmuutosominaisuudet. Selvitykset tehdään siten, että saadaan selvitettyä paalujen kantavuus ja painumat eri paalunpituuksien suhteen (LPO 2005, 2005, 27.)

Vedetyiksi paaluiksi luetaan paalut, joilla on pysyvästi tai toistuvasti vetoa enemmän kuin ne tehollisesti painavat. Tällöin pohjatutkimuksella selvitetään paalun vaipan ja maakerrosten kitka- ja adheesiovoima. Paalujen koekuormitukset ovat myös suositeltavia. (LPO 2005, 2005, 27.)



Kuva 2. Paalutyypit. (Jääskeläinen 2009)

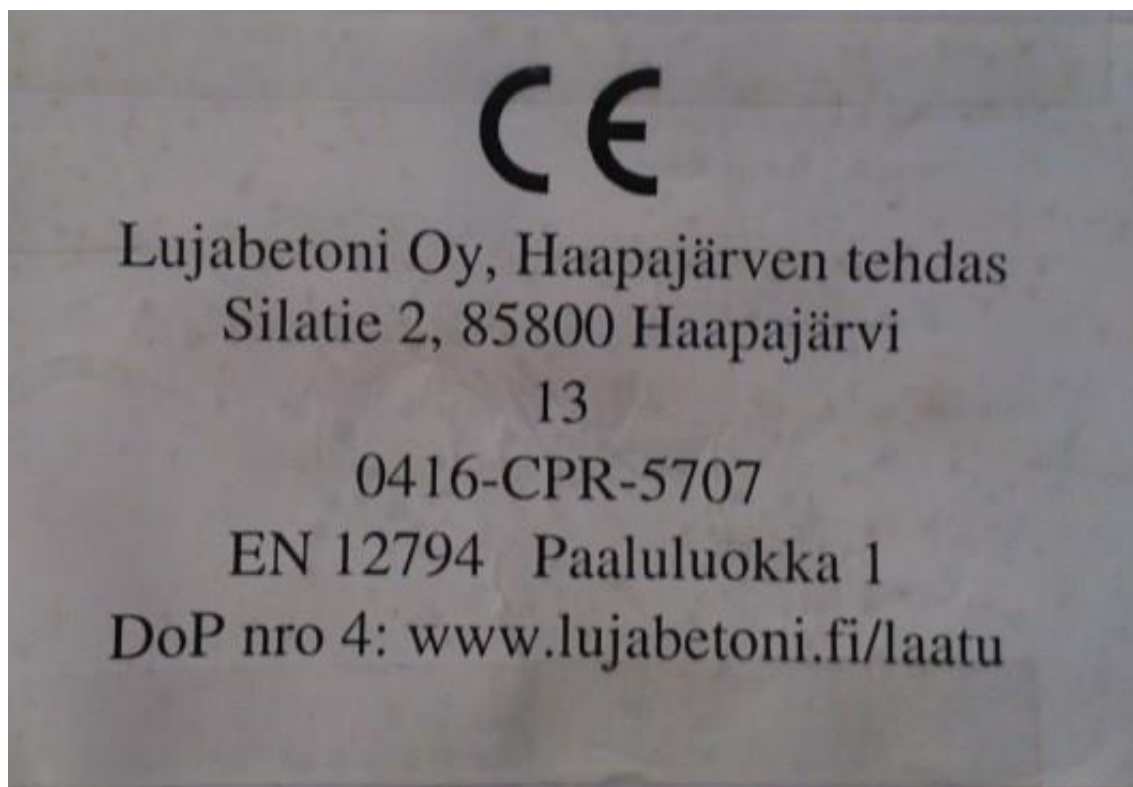
2.6 Paalujen valmistus

Paalut tulee suunnitella ja valmistaa Suomen rakentamismääräskokoelman osan B4:n rakenneluokka 1:n tai EN 12794 vaatimusten mukaan. Paaluissa tulee olla CE-merkintä. Materiaalit ja varusteet, joita käytetään paalujen valmistuksessa, tulee olla Suomen rakentamismääräyskokoelman, ohjeiden, SFS-EN-standardien ja hyväksyntäpäätöksiensä mukaisia (LPO 2005, 2005, 29.)

Paaluihin merkitään valmistuksen yhteydessä seuraavat tiedot:

- valmistaja
- valupäivämäärä
- paalun tyyppi
- pituus
- paino
- tarkastetun valmistuksen toimielimen merkki.

(LPO 2005, 2005, 31).



Kuva 3. Paalun CE-merkintä kohteen paalussa. (Rantakiven valokuvat, 2013).

Paalu on valmistettava siten, että se kestää sille tulevat kuormitukset, kuljetuksen ja asennuksen. Paalujen ikä on vähintään sama kuin niiden varaan perustettujen rakenteiden käyttöikä. Suunnitelmissa täytyy olla merkintä paalujen rasitusluokasta ja suunnitellusta käyttöiästä (LPO 2005, 2005, 29.)

Paaluissa käytettävän betonin valmistuksen ja kelpoisuuden toteamisen määrittää Suomen rakentamismääräyskokoelman osa B4 ja standardi SFS-EN 206-1 (LPO 2005, 2005, 29).

Paalutusluokassa I käytetään nimellisljuudeltaan vähintään K50 (C40/50) betonia ja paalutusluokissa II ja III betonin nimellisljuuden on oltava vähintään K45 (C35/45). Asennushetkellä paalun betonin ljuuden on oltava nimellisljuus (LPO 2005, 2005, 29- 30.)

Paalujen betonin yleisin ympäristörasitusluokka on XC2, mutta olosuhteiden niin vaatiessa rasitusluokka valitaan standardin SFS-EN 206-1 mukaan. Esimerkki kohteen tapauksessa paalujen rasitusluokaksi on valittu XA1. Kohde sijaitsee

entisen sahan paikalla Pielisjoen rannalla. Taulukossa 1 on esitetty betonin ympäristörasitus luokat, kun suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta.

Taulukko1. Betonin ympäristörasitusluokat (RakMk B4, 2005)

Betonin koostumuksen ja ominaisuuksien raja-arvot suunnitellun käyttöiän ollessa 50 vuotta						
	Rasitusluokat					
	Ei korroosion tai rasituksen vaaraa	Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio	Kloridin aiheuttama korroosio			Jäädytys-sulatus-rasitus
Merivesi			Kloridi muusta kuin merivedestä			
	X0	XC1 XC2 XC3 XC4	XS1 XS2 XS3	XD1 XD2 XD3	XF1 XF2 XF3 XF4	XA1 XA2 XA3
Suurin w/c suhde			0,5 0,45 0,45	0,55 0,55 0,45	0,6 0,5	0,5 0,45 0,4
Vähimmäislujuusluokka	K15	K25 K30 K30 K35	K40 K45 K45	K35 K35 K45		K40 K45 K50
Vähimmäissementtimäärä(kg/m ³)		200 230 250 270	300 320 320	300 300 320	270 300	300 320 330
F-luku(min. arvo)					1,0 1,5	
P-Luku min.arvo)					25 40	
Muut vaatimukset						sulfaatin kestävä sementti ¹⁾
1) Jos SO ₄ ²⁻ johtaa rasitusluokkiin XA2 tai XA3, käytetään sulfaatinkestävää sementtiä						

Teräsbetonipaaluissa käytettävät pääteräkset ovat minimilujuudeltaan 500 MN/m² ja hakateräkset ovat minimilujuudeltaan 400 MN/m². Terästen murtolujuuden ja myötölujuuden suhde on vähintään 1,07 ja kokonaisvenymä on vähintään 3,5 % ja murtovenymä on vähintään 9 %. SFS-standardien mukaan hyväksyttäviä teräslaatuja on A500HW, A700HW, B500K, B700K (LPO 2005, 2005, 30.)

Paaluille on asetettu vaatimuksia, jotka paalujen valmistuksen tulee täyttää.

Standardin EN 12794 mukaan:

- paalun sivumitta $-10 \leq 0 \leq +15$ mm
- paalunpituus $-100 \leq 0 \leq +150$ mm
- paalun pään vinous kohtisuorasta 1:100
- paalun keskilinjan sivuttaispoikkeama enintään 40 mm
- jatkoskappaleen vinous 1:50
- betonipeite: $-5 \leq 0 \leq +10$ mm

- pääterästen päiden ero 20 mm.

Paalut mitoitetaan käyttötilasta, nostosta, kuljetuksesta ja asennuksesta aiheutuvia jännityksiä ja rasituksia kestäväksi. LPO-2005 mukaan, paalun rakenteellinen suunnittelu tehdään Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisesti. Pääraudoitus mitoitetaan kaavalla 1:

$$A_s \geq 1,8 \times \frac{A_c \times f_{ctk}}{f_{yk}}, \text{ paalutusluokka II} \quad (1)$$

jossa

$A_s =$ yhteenlaskettu pinta-ala [m^2]

$A_c =$ paalun poikkipinta-ala [m^2]

$f_{ctk} =$ betonin ominaisvetolujuus [MN/m^2]

$f_{yk} =$ betoniteräksen ominaislujuus [MN/m^2]

(LPO 2005, 2005, 31- 32.)

Paalun pääteräksiä ei saa jatkaa, niiden betonipeitteen täytyy olla vähintään 25 mm. Jos rasitusluokka on XC2:ta vaativampi, niin betonipeite määritetään betonirakenteen säilyvyysohjeen mukaan (LPO 2005, 2005, 31-33.)

Noston ja käsittelyn aikaiset kuormat mitoitetaan murtorajatilassa. Halkeamaleveys tarkastelussa suurin sallittu halkeaman leveys on 0,5 mm käsittelyn aikaisille kuormille (LPO 2005, 2005, 31- 33.)

Nostolenkkien mitoitus paalussa on 0,2 x L paalunpäistä mitattuna (LPO 2005, 2005, 31- 33).

Paalun asennus tulee tehdä siten, että asennuksesta ei aiheudu niin suuria vetorasituksia, että terästen myötölujuus ylittyisi. Paalun pituuden kasvaessa yli 12 metrin vetorasitukset lisääntyvät, niin paljon että teräsmäärät joudutaan mitoittamaan lyönnistä aiheutuvalle vetojännitykselle. (LPO 2005, 2005, 31- 33.)

Teräsmäärä lyönnistä aiheutuneelle rasitukselle lasketaan kaavalla 2:

$$A_s \geq 7,5 \times \frac{A_c}{f_{yd}}, \text{ paalutusluokat II ja III} \quad (2)$$

jossa

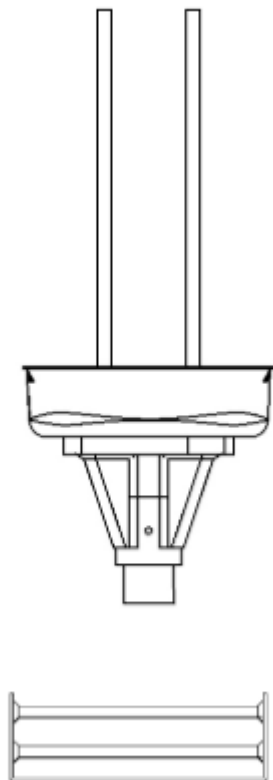
A_s pääterästen yhteenlaskettu pinta-ala [m^2]

A_c paalun poikkipinta-ala [m^2]

f_{yd} betoniteräksen mitoituslujuus [MN/m^2]

(LPO 2005, 2005, 33- 34.)

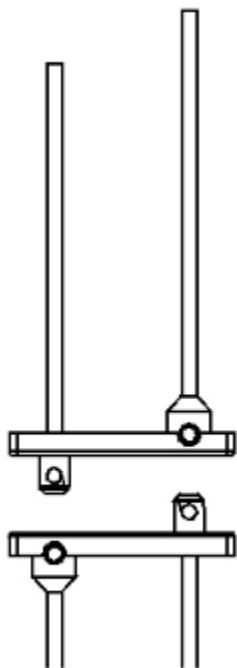
Paalun kärkeen on saatavana kahta erilaista kärkityyppiä (kuva 4). Silloin, kun maaperässä ei ole kiviä eikä lohkareita, paalunkärki varustetaan maakärjellä. Maaperän ollessa kivinen paalun kärki varustetaan kalliokärjellä (LPO 2005,2005, 35-37.)



Kuva 4. Paalujen kärjet: ylempänä on kalliokärki ja alempi on maakärki. (Paalu tuotelehti, 2011)

Paaluja jatketaan soveltuvilla jatkoskappaleilla, jotka sijoitetaan paalun päihin jo valmistusvaiheessa. Jatkoskappaleet on suunniteltu siten, että jatkoksesta tulee jäykkä ja jatkos välittää lyönnistä aiheutuvan iskuaallon (LPO 2005, 2005, 37-39.)

Paalua jatkettaessa jatkospaalu asennetaan jatkettavan paalunpäälle, liitoskappaleen kohdistustappien mukaisesti. Jatkospaalun ollessa samansuuntainen alla olevan paalun kanssa liitoskappaleeseen asennetaan terästäpit lyömällä ne jatkoskappaleessa oleviin reikiin. Näin ollen jatkoksesta tulee jäykkä. Kuvassa 5 on esitetty jatkoskappale paaluille.



Kuva 5. Paalun jatkoskappale. (Paalutuotelehti, 2011)

3 Suunnittelun kulku

3.1 Suunnittelun kulku LPO 2005:n mukaan

Suunnittelussa noudatetaan vain yhtä suunnittelujärjestelmää alusta loppuun saakka. Kyseisen kohteen tapauksessa suunnittelujärjestelmänä käytettiin LPO 2005. Kohteen perustus muodostuu yksittäisistä paaluista ja paaluryhmistä, riippuen kyseisen kohdan kuormista. Paalutuksen suunnittelun on LPO-2005:n mukaan perustuttava

- luotettaviin kuormitusten määrityksiin
- pohjatutkimuksiin ja mallinnuksiin, joissa otetaan huomioon paaluperustusten toiminta ja asennettavuus
- luotettaviin selvityksiin alueen ympäristöstä ja olosuhteista

- tietoon riittävästä alueellisesta vakavuudesta ja riittävästä paalutusalueen vakavuudesta rakennuskaivantojen ja/tai lisäkuormitusten huomioon ottamisen jälkeen RakMk:n osan B3 mukaisesti
- ennakointiin paalutuksen vaikutuksista vakavuuksiin lähirakenteisiin
- oikean paalutyypin valintaan
- paaluperustuksen suunnitteluun LPO-2005 mukaisesti
- oikean ja riittävän tehokkaan paalutuskaluston valintaan
- paalujen ja paaluryhmien geoteknisen kantavuuden mitoittamiseen
- paalujen rakenteellisen kantavuuden laskentaan
- paalujen ja paaluryhmien painumien, siirtymien ja kiertymien laskentaan.

3.2 Paalutyypin valinta

Pohjatutkimuksen tekijä on ehdottanut kohteeseen käytettäväksi teräsbetonisia tukipaaluja (Pohjatutkimus, 2011, 2). Paalutyypin valintaan on vaikuttanut pohjanrakenteiden suhteet ja rakenteiden kuormitukset. LPO-2005:n ohjeessa sanotaan, että ”Tukipaalu tukeutuu tiiviiseen pohjakerrostumaan tai kallioon. Paalun toimintatapa on siten helposti ymmärrettävissä ja toimintakelpoisuus useimmiten yksiselitteisesti todettavissa.”

3.3 Paalutusluokan valinta

LPO-2005 määrittelee paalutustyölle luokat, jotka ovat III, II, I. Luokan määrittämiseen vaikuttaa rakennuskohteen vaativuus, pohjatutkimuksesta saadut tulokset, paalujen laatu, paalutuskaluston, paalutustöiden suorituksen ja valvonnan laatu (LPO 2005, 2005, 43.)

Pohjatutkija on määrännyt kohteeseen paalutusluokaksi II tehdyn pohjatutkimuksen mukaan (Pohjatutkimus, 2011, 2.) Paalutusluokka II:een edellytetään tarkistustoimenpiteitä paalun kantavuuden varmistamiseksi. Toimenpiteitä ovat mm. (LPO 2005, 2005, 43-44.)

- tarkastusputket paalun suoruuden ja ehjänä säilymisen toteamiseksi

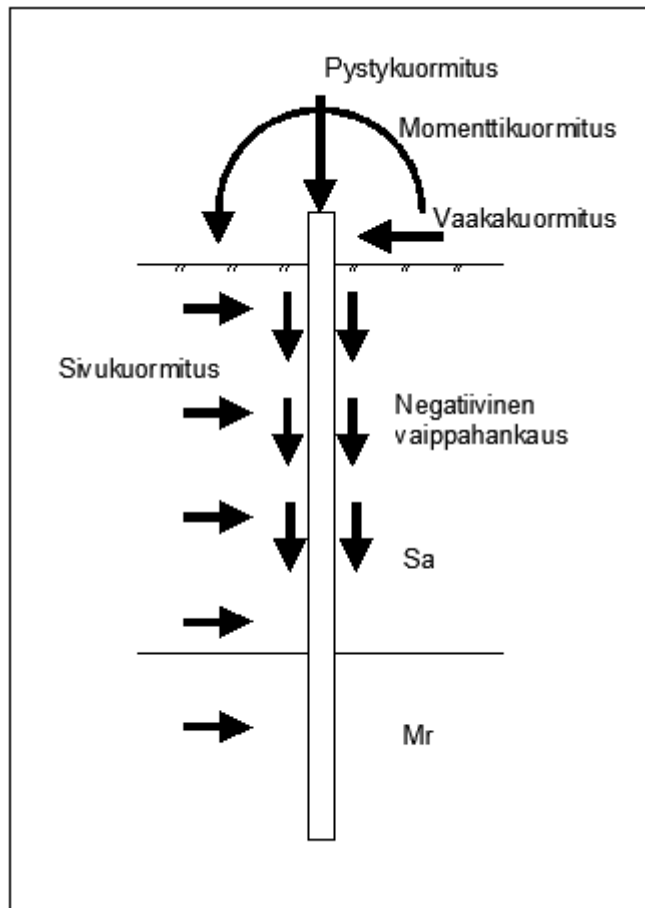
- dynaamiset koekuormitukset
- ehjyysmittaukset
- siirtymämittaukset
- koepaalutukset ja koekuormitukset
- paalun joustomittaukset
- yksityiskohtaisen paalupöytäkirjan pitämisen (liite 1).

3.4 Paalujen ulkoiset kuormitukset

Paaluun tai paaluryhmään kohdistuva pysyvä pystykuormitus voidaan välittää paalun kautta kovaan pohjakerrostumaan esimerkiksi kallioon tai moreenikerokseen, kun taas hetkellisiä pystykuormia voidaan siirtää myös muihin maakeroksiin. Paaluihin kohdistuvat taivutuskuormitukset pyritään suunnittelulla välttämään (LPO 2005, 2005, 47.)

Paalut pystyvät vähäisessä määrin ottamaan vastaan taivutuskuormituksia. Ei ole suositeltavaa mitoittaa paaluille vaaka- ja momenttikuormituksia.

Sivukuormitusta paalulle ja paaluille aiheuttaa esimerkiksi paalutuskoneella ajo paalutuskentällä. Sivukuormitus aiheuttaa paaluun ja paaluryhmiin momenttikuormitusta, joka taivuttaa paaluja. Sivukuormitus on otettava huomioon suunniteltaessa paalun rakenteellista mitoitusta. Paalut on mitoitettava siten, että ne kestävät kuvan 6 mukaiset rasitukset yhtä aikaa (LPO 2005, 2005, 47-48.)



Kuva 6. Paaluun kohdistuvat ulkoiset kuormitukset. Lähde: LPO 2005, s.46.

Negatiivinen vaippahankaus syntyy paalun ympärillä olevan maan painumisesta siten, että maa painuu paalua enemmän. Painuma voi aiheutua esimerkiksi pohjaveden alentumisesta. Negatiivinen vaippahankaus on otettava huomioon paalun geoteknistä ja rakenteellista kantavuutta laskettaessa (LPO 2005, 2005,48.)

Negatiivinen vaippahankaus on suurin lisäkuorma, joka vaikuttaa yksittäisiin paaluihin. Paaluryhmissä lisäkuorman suuruuteen, yksittäiseen paaluun, vaikuttaa ryhmän paalujen keskiöetäisyys ja niiden määrä (LPO 2005, 2005, 48.)

Negatiivisesta vaippahankauksesta aiheutuva lisäkuorma suurille ja tiheille paaluryhmille voidaan laskea LPO 2005 mukaan kaavoilla 3 ja 4 ja kuvien 7 ja 8 esityksen mukaan.

$$P_{neg} = \frac{B \times L \times q + 2 \times (B+L) \times D \times s_u}{n} \quad (3)$$

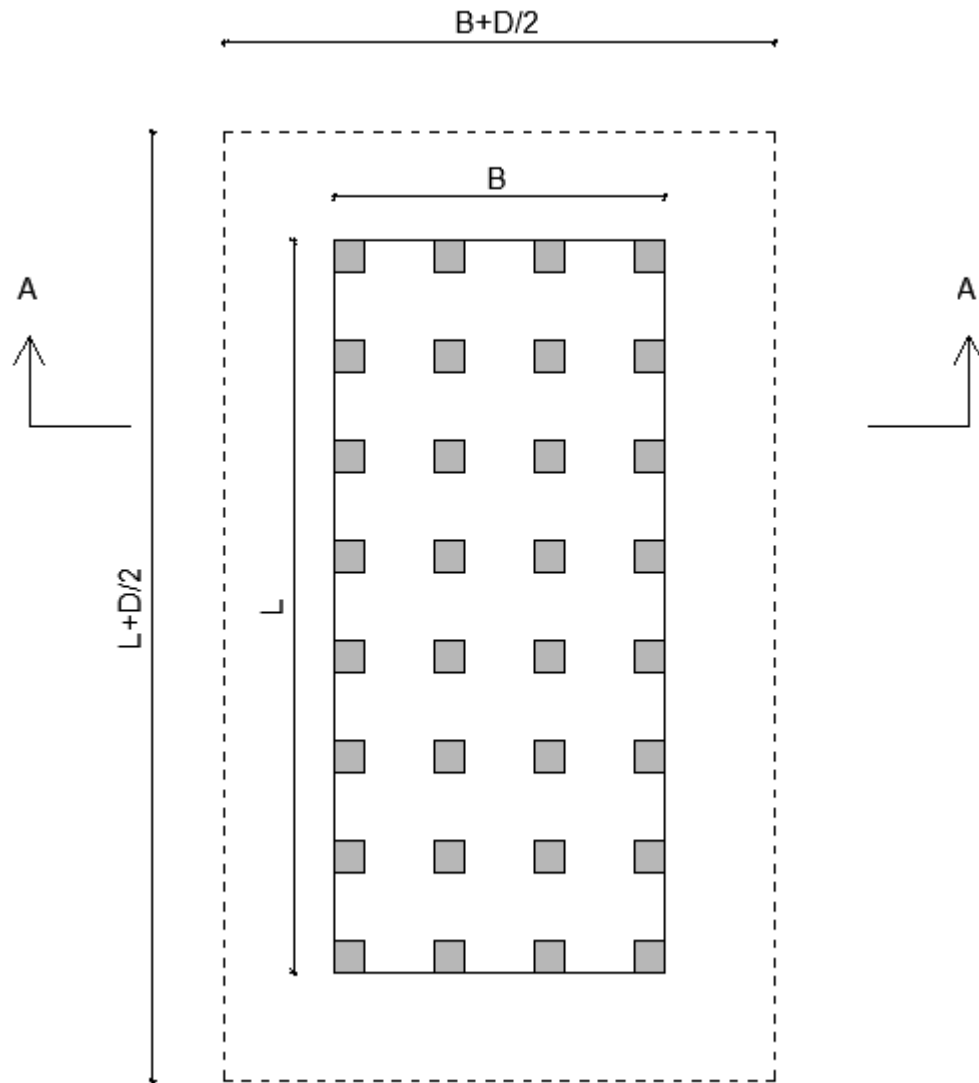
tai

$$P_{neg} = \frac{(B + \frac{D}{2}) \times (L + \frac{D}{2}) \times q}{n} \quad (4)$$

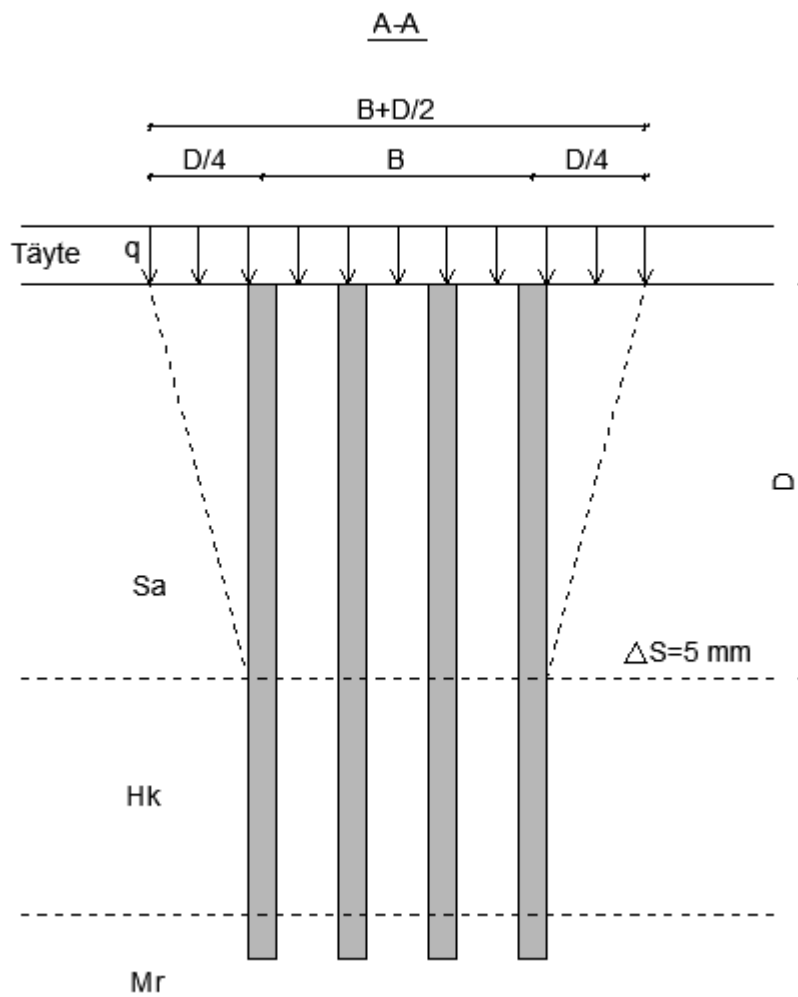
jossa

s_u = suljettu leikkauslujuus

n = paalujen lukumäärä



Kuva 7. Paaluryhmä. Lähde: LPO 2005 s.49



Kuva 8. Leikkaus A-A paaluryhmästä. Lähde: LPO 2005 s.49

3.5 Paalun geotekninen mitoitus

Paalun geotekninen kantavuus tarkoittaa sitä, miten paljon yhtä paalua voidaan kuormittaa, että rakenne kestää ehjänä. Teräsbetonisille tukipaaluille paalutusluokassa II on määritelty geotekninen kantokyky, joka on enintään 7 MN/m^2 (LPO 2005, 2005, 50- 51.)

Kohteen pohjatutkimuksessa on määritelty geotekninen kantokyky. Pohjantutkija on määritellyt sen 7 MN/m^2 (Pohjatutkimus, 2011, 2.)

Geotekninen kantokyky varmistetaan tukipaaluille paalutuskaavoilla 5 tai 6. Ehdona on myös, että loppulyönnit tehdään taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Loppulyönnit vapaasti putoava järkäle 50kN. Lähde LPO 2005 s. 81

Paalutusluokka	Paalunkoko [mm]	Suurin sallittu painuma [mm/10iskua], 50 kN	Loppulyöntien sarja määrä [kpl]	Loppulyöntien iskunpituus [m] paalunpi- tuuden olles- sa	
				5m	10m
II	250x250	35	3-5	0,25	0,25
II	300x300	24	3-5	0,25	0,25

$$R_m = k_3 \times \frac{k_1 \times k_2 \times Q \times h}{s + \frac{c}{2}}, \text{ järkäleet ilman energiamittaria} \quad (5)$$

$$R_m = k_3 \times \frac{k_2 \times E_k}{s + \frac{c}{2}}, \text{ järkäleet energiamittarin kanssa} \quad (6)$$

jossa

R_m = paalun murtokuorma [kN]

k_1 = järkäletyypistä riippuva korjauskerroin,

$k_1 = 1,0$ kiihdytetyille järkäleille

$k_1 = 0,9$ vapaasti putoavat järkäleet

$k_1 = 0,8$ vaijerijärkäleille

k_2 = iskutyynyn ja -suojan kerroin, kalibroimattomilla järkäleillä $\leq 0,85$

k_3 = maaperäkerroin, moreeni 0,7-0,85 ja kallio 0,85-1

h = iskunpituus, maksimi 500 mm

Q = järkäleen liikkuvan osan paino (massa x kiihtyvyys g) [kN]

E_k = järkäleen kineettinen energia, energiamittari [kJ]

s = pysyvä painuma keskimäärin iskua kohti viimeisellä iskusarjalla [mm]

c = maan, paalun ja apupaalun jousto [mm]

(LPO 2005, 2005 51- 52.)

Paalun pystysuuntaisten siirtymien tarkastelussa otetaan huomioon:

- yksittäisten paalujen painuma
- paalujen ryhmävaikutuksen aiheuttamat painumat
- rakenteiden kiertymät ja kaltevuuden muutokset, jotka johtuvat paalujen epätasaisesta painumasta.

(LPO 2005, 2005, 56.)

Paalun sivusuuntaisten siirtymien tarkastelussa otetaan huomioon:

- maan jäykkyys
- yksittäisten paalujen taivutusjäykkyys
- paalun ja rakenteen välinen momenttijäykkyys
- ryhmävaikutus
- kuorman suunnan muutokset ja syklisen kuorman vaikutukset.

(LPO 2005, 2005, 61.)

Paaluilla on veto- ja sivukapasiteettia. Vetokapasiteetti otetaan huomioon jo paalun rakenteellisessa mitoituksessa. Kuormituksista aiheutuneet rasitukset täytyy pysyä rakenteen sietämissä rajoissa. Paalun sivukapasiteetti on sitä, että paalu kestää sille tulevat sivukuormitukset. Sivukapasiteetissa otetaan huomioon myös maan sivutuenta (LPO 2005, 2005, 57- 58.)

3.6 Paaluryhmien geotekninen mitoitus

Paaluryhmän ollessa kuormituksen alaisena on sen kestettävä sille tulevat kuormat rakenteen säilyessä ehjänä. LPO 2005:n ohje, paaluryhmän geoteknistä kantavuutta suunniteltaessa lasketaan sallittu maapohjan kantokyvyn ja siirtymien suhteen. Tuloksista pienempi on paaluryhmän sallittu geotekninen kantavuus. Tämän lisäksi tarkastetaan paalun rakenteellinen kestävyys (LPO 2005, 2005, 66.)

Paalutuksen suunnittelussa on huomioitava, kun lasketaan paalun kuormia:

- paalunpituuksien erot
- tunkeutuminen joko maahan tai kallioon
- paalujen ehjyydet
- sijainti ja sijaintipoikkeamat
- suunta ja suunta-poikkeamat.

(LPO 2005, 2005, 66-67.)

Paaluryhmille on tehtävä siirtymätarkastelu. Tarkastelussa tutkitaan:

- yksittäisten paalujen siirtymät
- lisäsiirtymät, jotka aiheutuvat paalujen ryhmävaikutuksesta
- rakenteen painumat, kiertymät ja kaltevuuden muutokset.

(LPO 2005, 2005, 67.)

Paaluryhmän on kestettävä asennuksen jälkeen sille tulevat kuormitukset rakenteen sallimissa rajoissa. Sivuvastus, joka kohdistuu ryhmään, on joko yksittäisten paalujen sivuvastuksien summa tai paaluryhmän sivuvastus. Vaakasiirtymien raja-arvot määräytyvät yläpuolisten rakenteiden mukaan. Vaakasiirtymien määrittämisessä huomioitavia asioita ovat

- maanjäykkyys
- paalun taivutusjäykkyys
- paalun ja rakenteen välinen momenttijäykkyys
- ryhmävaikutus
- kuorman suunnan muutokset ja syklisen kuorman vaikutukset
- rakenteen kiertymät ja kaltevuuden muutokset, jotka johtuvat siirtymistä.

(LPO 2005, 2005, 69.)

Paaluryhmän momenttikapasiteetti tarkastelussa tehdään kantokyvyn ja kiertymien tarkastelu. Kantokyvyn tarkastelussa tarkastellaan yksittäisten paalujen puristus- ja vetokuormituksia, kantokyvyn ja vetokuormien summaa ja koko paaluryhmän kantavuutta. Arvioitaessa kiertymiä tarkastellaan seuraavia asioita: paalujen siirtymiä, paalujen ryhmävaikutuksen vaikutusta, siirtymiä joilla on vaikutuksia ylärakenteiden muodonmuutoksiin (LPO 2005, 2005, 70.)

3.7 Ympäristön huomioon ottaminen

Paalutusta suunniteltaessa on huomioitava lähiympäristön tekijät, jotka ovat paalutuksen vaikutus piirissä. Paalutuksen lähipiirissä olevat helposti rikkoontuvat rakenteet tulee tarkastaa katselmuksin (LPO 2005, 2005, 71.)

Paalutuksesta aiheutuu maan syrjäytymistä, mikä voi aiheuttaa paalujen siirtymiä. Jos oletetaan, että siirtymiä tapahtuu, niin tilannetta on tarkkailtava mittauksilla (liite 1) (LPO 2005, 2005, 71-72.)

Kohteen tontin maalajit ovat hienorakeisia ja eloperäisiä. Kyseiset maalajit ovat sellaisia, että paaluja asennettaessa maa häiriintyy ja huokospaine nousee. Maakerrosten alla oleva paineellinen pohjavesi vaikuttaa paalujen kantokykyyn alentavasti. Työn aikana on näiden asioiden ehkäiseminen ja tarkkailu ehdottoman tärkeää (liite 1 ja 2) (LPO 2005, 2005, 71-72.)

Maan tiivistymistä voi aiheutua, kun paaluja asennetaan löyhään karkearakeiseen maahan. Kun tiivistymisestä aiheutuvat siirtymät ovat haitallisen suuria, niin siirtymien vaikutusta on ehkäistävä. Työn aikana on tehtävä myös tarkkailumittauksia (liite 2) (LPO 2005, 2005, 74.)

Tärinä ja melu ovat asioita, joita paalutus aiheuttaa. Ne on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa ja niiden vaikutusalue on määriteltävä ennen paalutustyön aloitusta. Suunnitelma asiakirjoissa määritetään ympäristössä tehtävien katselmusten ja riskianalyysin tarpeellisuus (liite 1) (LPO 2005, 2005, 75.)

Kohteessa ei tehty erillisiä värinän mittauksia, eikä myöskään desibeli-mittauksia. Rakennesuunnittelijan määrittämän vaikutusalueen piirissä ei ole pysyvää asutusta tai rakenteita.

3.8 Teräsbetonipaalun rakenteellinen mitoitus

Rakenteellinen mitoitus tehdään voimassa olevien SFS-EN-standardien ja Suomen rakentamismääräyskokoelman teräsbetonipilareille määritettyjen ohjeiden mukaan. Mitoituksessa tarkasteltavia asioita ovat:

- murtuminen puristuksesta
- lyönnin aiheuttamat rasitukset
- mahdollinen nurjahtaminen
- veto rasitukset
- taivutus rasitukset
- leikkausrasitukset.

(LPO 2005, 2005, 85.)

3.9 Rakennesuunnittelu

Paaluperustus ja niiden päälle tulevat rakenteet pyritään suunnittelemaan aina yhdessä, jolloin pystytään valitsemaan perustuksen muoto, mitat ja jäykkyys rakenteen kannalta edullisimmaksi (LPO 2005, 2005, 88.)

Rakennesuunnitelmassa esitettäviä asioita:

- paalujen sijaintipiirustukset
- paalujen katkaisutapa ja tarkkuusvaatimus
- paaluperustuspiirustukset
- rakenteelliset mitoituslaskelmat

(LPO 2005, 2005, 88.)

Paalun rakenteellisessa mitoituksessa tarkastelun alla olevia asioita ovat

- kantavuustarkastelu: kuormien laskeminen ja vertailu sallittuihin arvoihin

- vakavuustarkastelu: paalun ja paaluperustuksen kriittisten kuormien laskeeminen
- siirtymätarkastelu: eri kuormitusten aiheuttamat siirtymät – paalujen kimmoiset muodonmuutokset
- asennuksesta johtuvat sijaintipoikkeamat ja kaltevuuserot.

Kaikki tarkastelu laskelmat tehdään dokumentoidusti. Suunnitelmissa pyritään siihen, että paaluihin kohdistuu vain puristavia pystysuuntaisia voimia. Perustukset suunnitellaan siten, että ne riittävällä varmuudella kestävät niille tulevat rasitukset (LPO 2005, 2005, 89.)

3.9.1 Paalu, -ryhmä ja -antura

Paaluanturan korkeusasema määrätään ruotimattomalle syvyydelle. Jos tämä on mahdoton toteuttaa, niin silloin antura routaeristetään, kuten jouduimme tekemään kohteessamme. Kuvassa 9 on esitetty routaeritys.



Kuva 9. Routasuojattu paaluantura. (Rantakiven valokuvat, 2013).

Paalun katkaisu suoritetaan 50 millimetriä ylempää kuin paaluanturan alapinta. Paalujen keskiöetäisyydet määritetään tukipaaluille taulukon 3 mukaan.

Taulukko 3. Keskiöetäisyydet. Lähde: LPO 2005, s.90

Paalun pituus [m]	Tuki- ja kitkapaalut	
	Pyöreä	Neliö
10	2,7xd*	3xd*
10-25	Väliarvojen interpolointi	
25	3,5xd*	4xd*

* Taulukossa d on pyöreän paalun halkaisija ja neliömäisen paalun sivumitta.

Paalun etäisyys paaluanturan reunasta tulee olla riittävä, sillä ehdolla, että paaluantura kestää paaluvoimien jännitykset reunan lohkeamatta. Reunaetäisyys pitää olla puolet paalun sivumitasta lisättynä sijaintipoikkeamalla (LPO 2005, 2005, 91.) Kuvassa 10 näkyy paalun sijainti paaluanturassa.



Kuva 10. Paalun etäisyysreunasta. (Rantakiven valokuvat, 2013).

3.9.2 Paalujen sijainti

Rakennesuunnittelija määrittää paalujen sijainnin. Sijainti on esitetty paalutuspiirustuksessa. Paalu on lyötävä mahdollisimman tarkasti suunnittelijan määrittelemään paikkaan. Asennuksesta aiheutuvat sijaintipoikkeamat ja kaltevuuspoikkeamat on otettava huomioon suunnitelmissa (LPO 2005, 2005, 92- 93.) Taulukossa 4 on havainnollistettu poikkeamat.

Taulukko 4. Sijaintipoikkeamat. (LPO 2005, 2005, s.93.)

Tyyppi	Sallittu poikkeama [mm]	painopiste poikkeama [mm]	asentopoikkeama yksit.paalu [mm/m]	suuntapoikkeama ryhmässä[mm/m]
1-paalu	100		40	
4-8 paaluryhmä	150	50	40	20
yli 8 paaluryhmä	200	50	40	20
Esireikä poratut	200		40	20
Paalurivin yksit. paalun	150	50	40	20

3.10 Pohjarakennesuunnitelma

Pohjarakennesuunnitelman laatii pohjarakennesuunnittelija.

Pohjarakennesuunnitelmassa esitetään

- rakennusselostus: pohjasuhteet, pohjarakentaminen ja pohjarakenteet
- paalukartta, jossa esitetään paaluperustukset ja paalut numeroituna (liite 1)

- paalukarttaan liite: taulukko, jossa on esitetty paalujen katkaisutasot ja arvioitu tunkeutumissyvyys (liite 3)
- paalujen rasitusluokka ja suunniteltu käyttöikä (liite 1)
- pohjasuhteiden vaikutus asennustyöhön: alueen vakavuusriskit, työalustan tarpeellisuus.

4 Paalutustyön toteutus

4.1 Paalutustyönjohtajan kelpoisuus ja tehtävät

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa, A1 Rakennustyön valvonta, määrittelee valvontaan liittyvät asiat. Maankäyttö- ja rakennuslain 122§ ja 1 momentissa sanotaan,

Lupaa tai muuta viranomaishyväksyntää edellyttävässä rakennustyössä tulee olla työn suorituksesta ja sen laadusta vastaava, joka johtaa rakennustyötä sekä huolehtii rakentamista koskevien säännösten ja määräysten sekä myönnetyn luvan ja hyvän rakennustavan mukaisesta työn suorittamisesta (vastaava työnjohtaja).

Maankäyttö- ja rakennuslain 122 § ja 1 momentin kohtaan liittyy määräys, joka velvoittaa kaivamiselle, täyttämiseksi, louhimiseksi, paalutustyölle sekä rakennuksen purkamiseksi vastaavan työnjohtajan (Suomen rakentamismääräyskokoelma A1, 2006, 9.)

Paalutustyönjohtajalla tulee vähintäänkin suoritettu teknillisen oppilaitoksen- tai ammattikorkeakoulututkinto rakennusalalta tai hän on osallistunut alan koulutuksiin, joista on saanut paalutustyönjohtajan pätevyyden. Työnjohtajalla tulee olla jo useamman vuoden käytännön kokemus paalutustöistä (LPO 2005, 2005, 97- 98.)

Paalutustyönjohtajan tehtävät ennen työn aloittamista:

- Suunnitelmiin ja tutkimuksiin perehtyminen
- työsuunnitelman ja laatusuunnitelman laatiminen ja luovuttaminen rakennushankkeeseen ryhtyvälle tai hänen edustajalleen (liite 4)
- Paalutustyön aikainen työmaan aluesuunnitelma
- Ympäristön ja ympäröivien rakenteiden katselmukset ja mittauksista huolehtiminen
- Kohteen paalujen saatavuuden varmistaminen aikataulun mukaisesti
- Mittausurakoitsijan tilaaminen ja perehdyttäminen työhön
- Työalustan teon suunnitelmien mukaisuuden varmistaminen (kuva 11)
- Ympäristöön tehtävien mittauspisteiden teon ja mittauksien ohjeistus
- Johtokaivantojen kartoitus
- Työvaiheen aloituspalaveri urakoitsijan kanssa (liite 5)
- Paalutuskoneen vastaanotto- ja käyttöönottotarkastus yhdessä paalutuskoneen kuljettajan kanssa (liite 6)
- Paalutusurakoitsijan perehdyttäminen työhön ja työmaan olosuhteisiin
- Koepaalujensuunnitelma ja -pituudet (liitteet 4 ja 7).



Kuva11. Työalustan teko. (Rantakiven valokuvat,2013).

Paalutustyönjohtajan tehtävät työn aikana:

- Työturvallisuuden valvominen (TR-mittaukset)
- Paalukuormien tilaaminen ja aikatauluttaminen
- Paalujen pituuden määrittäminen tilauksiin (liite 7)
- Paalujen ehjyyden tarkastaminen ennen asennusta
- Paalujen asennuksen aikana esiintyvien ongelmien raportointi rakennesuunnittelijalle (lisäpaalujen tarve)
- Paalujen paikalleen mittauksen tilaus päivittäin aliuraloitsijalta
- Ympäristön tarkkailumittaus tietojen toimittaminen rakennushankkeeseen ryhtyvälle ja rakennesuunnittelijalle
- Paalujen tarkemittaus tietojen toimittaminen suunnittelijalle ja rakennushankkeeseen ryhtyvälle (liite 2) ote tarkemittauksista
- Ympäristön tarkkailumittauksien valvonta ja toimenpiteet tulosten perusteella

- Paalutuspöytäkirjan pito, kohteessa paalutusurakoitsija piti lyödyistä paaluista pöytäkirjaa ja työn loputtua pääurakoitsijan edustaja kuittasi pöytäkirjat (liite 8).

Paalutustyönjohtajan tehtävät työn jälkeen:

- Paalujen katkaisun jälkeen tarkemittauksen organisointi
- Paalujätteiden kuljetuksen järjestäminen murskattavaksi
- Paalujen lopullisen sijainnin dokumentointi ja viipymätön toimitus rakennushankkeeseen ryhtyvälle ja rakennesuunnittelijalle (liite 2 ja 9)
- Vastaavan mestarin laatimaan laadunhallintasuunnitelmaan kuittaus, kun kaikki paalutukseen liittyvät työt on tehty ja dokumentoitu.

4.2 Paalutuskalusto

Paalutuskalustona työmaalla oli Niskasen Maansiirto Oy:n paalutuskone Junttan PM 20 LC 5 tonnin järkäleellä, kuva 12. Kyseinen paalutuskone on varustettu nykyaikaisella loppulyöntimittaus järjestelmällä ja GPS-paikannusjärjestelmällä. Loppulyönti sarjojen painumien mittaus tapahtuu siis pelkästään koneen omien antureiden perusteella. Koneessa ollut GPS-paikannusjärjestelmää ei käytetty hyväksi kohteen paalujen mittauksessa.



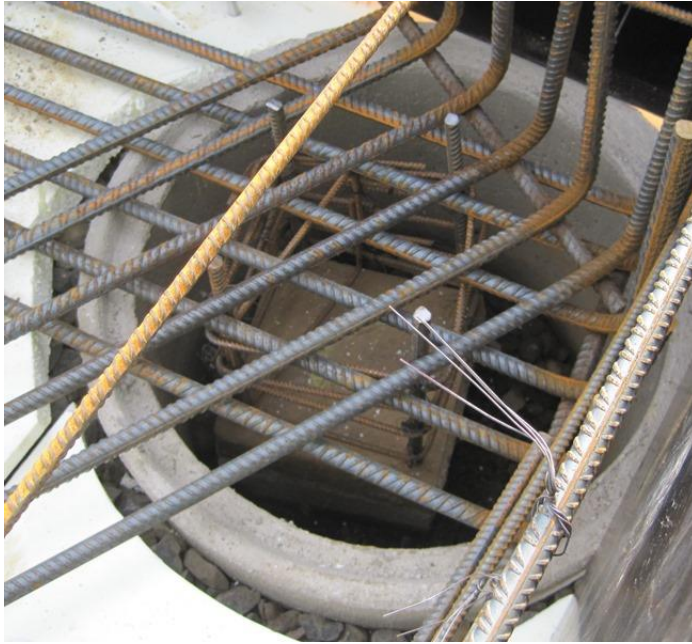
Kuva12. Junttan PM 20LC. (Rantakiven valokuvat, 2013).

4.3 Paalujen asennus

Paalutuskoneelle pitää olla kunnollinen työalusta, jonka päällä on koneen helppo liikkua. Paalutuskoneen omapaino on 63 tonnia. Paalujen varastointi tapahtuu siten, että paalutuskoneen ei tarvitse vetää paaluja maata pitkin maksimissaan kaksi paaluriviä päällekkäin.

Paalut lyödään maahan yksitellen ja työkohteenohjeen (liite 4) mukaisessa järjestyksessä. Pyritään siihen että paalut saadaan lyötyä ehjänä maahan, johon vaikuttaa paalun nosto pystyyn ehjänä, iskunpituus, maassa olevat lohkarit ja kivet. Lähestyttäessä kovaa maakerrosta on iskunpituutta lyhennettävä, jotta paalut eivät rikkoontuisi. Paalun painumaksi LPO 2005 suosittelee enintään 100-150 mm lyöntiä kohden (LPO 2005, 2005, 105).

Liian syväälle menneen paalun jatkaminen tehtiin kohteessa 600*600*500 mm betonikaivon renkailla. Jatkettavan paalunpää kaivetaan riittävän syvältä esille ja paalun ympärille asennetaan kaivonrenkas. Jatkoksen yläreuna asennetaan paalun katkaisukorkeuteen. Paalun jatkoksen ollessa alle 200 mm kaivonrenkas betonoidaan anturan valun yhteydessä. Jos jatkoksen korkeus on yli 200 mm, niin se raudoitetaan pilarin tavoin (kuva 13).



Kuva 13. Paalun jatkaminen. (Rantakiven valokuvat, 2013).

Paalujen katkaisu tapahtuu sahaamalla ne timanttisahalla. Sahaus ulotetaan koko paalun ympäri ja samalla leikkaantuvat paalun pääteräkset poikki, jonka jälkeen paalu katkaistaan kiilaamalla (kuva 14) tai koneellisesti kaivinkoneen kauhalla.



Kuva 14. Paalujen katkaisu. (Rantakiven valokuvat, 2013).

4.4 Laadunvarmistus ja työturvallisuus

Laadunvalvonta on tärkeä sen takia, että varmistetaan työn lopputuloksen olevan suunnitelma asiakirjojen mukainen.

Laadunvarmistukseen vaadittavat asiat:

- laatu- ja työsuunnitelmat
- aloituspalaveri
- koepaalutuksen määrittely
- rakennesuunnittelijan työselostuksen mukainen toiminta ja vaadittavien asiakirjojen pito
- kohteessa Penttilän rantaraitin seuraamiseen liittyvät mittaukset ja niiden määrät ja toiminta poikkeavissa olosuhteissa
- paalutuspöytäkirjat ja tarkemittaus tietojen dokumentointi
- lopullisen kuorman tarkastaminen (rakennesuunnittelija)
- paalun, paaluryhmän tai paalurivin painopisteen tarkastaminen, todetaan kelpoisuus (rakennesuunnittelija).
- rakennustyön tarkastusasiakirja

- paalutustyön tarkastusasiakirja. (LPO 2005, 2005, 107-108 ja 119.)

Työturvallisuus on erityisen tärkeää paalutustyössä, koska käytetään raskaita koneita ja laitteita. Työturvallisuudessa noudetaan lakeja ja niiden asetuksia, normeja, määräyksiä ja ohjeita.

Työturvallisuudessa huomioitavia asioita:

- paalutuskalusto standardin SFS-EN 996 mukainen (kuva 12)
- putoamissuojaus oltava 100% työmaalla
- muu työmaa liikenne (kulkureitit kunnossa)
- laitteiden ja koneiden käyttöönotto- ja päivätarkastukset tehtävä (liite 6)
- nostoapuvälineissä oltava voimassa olevat tarkastusleimat
- työntekijöillä henkilökohtaiset suojavälineet
- aliurakoitsijan aliurakan työn turvallisuussuunnitelma
- työntekijöiden perehdytys ja kulkulupa työmaalle
- ympäristön huomioon ottaminen (liite 1 ja 4)
- paalujen nostot valmistajan ohjeiden mukaan. (LPO 2005, 2005, 122-123.)

5 Kustannukset

Kustannustenhallinta on tärkeä osa paalutustyötä ja suunnittelua. Rakennesuunnittelija joutuu suunnittelu vaiheessa tekemään valintoja, joilla pystytään vaikuttamaan paalutuksen kustannuksiin. Paalutustyönjohtaja omalta osaltaan pystyy vaikuttamaan kustannuksiin hyvällä suunnittelulla ja paalun pituuksien ennalta arvioinnilla.

Paalutustyön kustannukset koostuvat:

- Suunnittelu
- Pohjatutkimus
- Paalujen hankinta
- Paalujen asennus: mittaus ja paalutuskone
- Paalujen katkaisu: alihankinta/omatyö
- Paalujätteiden murskaus

6 PO-2011 mukainen paalutus

6.1 Suunnittelujärjestelmä

Suunnittelu perustuu Eurokoodi- järjestelmään, joka koostuu seitsemästä eri koodista.

- Eurokoodi - Rakenteiden suunnitteluperusteet (SFS-EN 1990)
 - Eurokoodi1- Rakenteiden kuormat (SFS-EN 1991-1-1, -1-2, -1-3, -1-4, -1-5, -2)
 - Eurokoodi 2 – Betonirakenteiden suunnittelu (SFS-EN 1992-1-1)
 - Eurokoodi 3 – Teräsrakenteiden suunnittelu (SFS-EN 1993-1-1, -1-8, -1-9, -5)
 - Eurokoodi 4 – Betoni-teräs liittorakenteiden suunnittelu (SFS-EN 1994-1-1)
 - Eurokoodi 5 – Puurakenteiden suunnittelu (SFS-EN 1991-1-1)
 - Eurokoodi 7 – Geotekninen suunnittelu (SFS-EN 1997-1 ja -2)
- (PO 2011, 2011, 27- 33.)

Eurokoodeja täydentämään on tehty kansalliset liitteet ja osiltaan yhteensopivat rakentamismääräyskokoelman osat. On myös olemassa toteutus-, tuote- ja materiaalistandardeja, joita tulee noudattaa (PO 2011, 2011, 27- 33.)

Paalutustyön suunnitteluun vaiheisiin liittyvät standardit:

- Geotekninen mitoitus ja kuormat: SFS-EN 1997-1
- Paalun rakenteen mitoitus: SFS-EN 1992
- Kuormat, kuormienyhdistely ja kuormienosavarmuusluvut: SFS-EN 1990 ja 1991

Mitoitus tarkastelut tehdään käyttö- ja murtorajatilassa osavarmuuslukumenetelmällä (PO 2011, 2011, 27- 33.)

6.2 Geotekninen luokka

Ensimmäiseksi valitaan kohteelle geotekninen luokka, jotta pystytään määrittämään kohteelle suunnittelu vaatimukset. Paalutusohje 2011:sta mukaan esimerkki kohde kuuluu geotekniseen luokkaan 2 (GL 2) (PO-2011, 2011, 28.)

Kohteen kuuluessa geotekniseen luokkaan GL 2, niin suositeltavia pohjantutkimusmenetelmiä ovat, kun käytetään lyöntipaaluja:

- heijarikairaus (DP)
- painokairaus (WST)
- porakonekairaus (B). (PO-2011, 2011, 39.)

6.3 Pohjatutkimus

Pohjatutkimus tehdään standardien SFS-EN 1997-1 ja SFS-EN 1997-2 mukaan huomioon ottaen kansalliset liitteet. Pohjatutkimuksen laajuus riippuu geoteknisestä luokasta (PO-2011, 2011, 35 - 37.)

Geotekniseen luokkaan 2 kuuluvien kohteiden pohjatutkimuksien ominaispiirteitä:

- maapohjan geotekniset ominaisuudet saadaan selvitettyä paalutuksen vaikutusalueella vaatimustason mukaisesti
- maapohjan kerrostumat, ne joilla on merkitystä rakentamiseen ja rakenteisiin, saadaan selvitettyä.

- tutkimuksissa käytetään rutiinimenetelmiä.
- käytetään soveltuvaa tutkimusmenetelmää (heijarikairaus)
- tutkimuskalusto oikeanlainen, jotta saavutetaan paalun oletettu tunkeutumistaso
- tutkimuspisteet 5-15 metrin välein
- tutkimukset pyritään viemään 1-2 metriä paalujen tunkeutumistason alapuolelle
- maanäytteet: kokoonpuristuvuus ja lujuusominaisuuksien mittaus.
- rakennuspaikalla sijaitseva havaintoputki, jolla mitataan pohjaveden suuntaa ja korkeutta. (PO-2011, 2011, 37-38.)

6.4 Suunnittelu

Suunnittelussa tarkastellaan erilaisia rajatiloja, jotka ovat hankkeelle merkityksellisiä. Tarkasteltavia rajatiloja ovat:

- alueellinen kokonaisvakavuus
- paaluperustuksen geotekninen kestävyys
- paaluperustuksen vetokestävyys
- paaluperustuksen nousu
- paaluperustuksen poikittaiskuormituksen aiheuttama maapohjan murtuminen
- paalun rakenteen murtuminen puristuksesta, vedosta, taivutuksesta tai leikkausrasituksesta
- paalun nurjahtaminen
- paaluperustuksen ja maapohjan yhdistetty murtuminen
- siirtymät: liian suuret painumat, liian suuri nousu, liian suuri poikittais-suuntainen liike
- ympäristön siirtymät
- huokosveden paineen muutokset.

(PO-2011, 2011, 47.)

Kuormien laskennassa otetaan huomioon:

- pysyvät ja hyötykuormat rakenteista
- maan ja veden paine

- jännitykset maapohjassa
- veden- ja jään paineet
- työkone-, liikenne- ja muut pintakuormat
- maankaivu ja läjitykset
- liukumisen tai painumisen aiheuttamat siirtymät
- räjäytyksistä, tärinästä tai dynaamisista kuormituksista aiheutuvat siirtymät
- lämpöliikkeet ja routakuormat
- negatiivinen vaippahankaus
- perustusten epätasainen painuminen.

(PO-2011, 2011, 47-48.)

Ympäristön huomioon ottaminen on myös tärkeää. Lähinnä otetaan huomioon paalujen ja perustusten säilyvyyteen liittyviä asioita, kuten:

- kemiallisen korroosion vaikutus
- jäätyminen
- syöpyminen, eroosio ja kaivu.

(PO-2011, 2011, 48.)

Paaluihin kohdistuvat ulkoiset kuormitukset tulee huomioida kappaleen 3.4 mukaan.

6.4.1 Paalun geotekninen kestävyys

Paalutusohje 2011 mukaan paalun geotekninen kestävyys voidaan määrittellä ja varmistaa viidellä eri tavalla. Ohje kuitenkin suosittelee käytettäväksi tukipaalujen tapauksessa, riittävää pohjatutkimusta ja dynaamisia koekuormituksia (PO-2011, 2011, 54-78.)

Geoteknisen kestävyiden määrittäminen vaihtoehtot:

- staattinen koekuormitus
- dynaaminen koekuormitus (liite 10)
- pohjatutkimus: mallipaalumenetelmä ja vaihtoehtoinen menetelmä

- pohjatutkimuksen ja paalutuskaavojen avulla
- iskuaaltoanalyysi. (PO-2011, 2011, 54-78.)

Dynaamisen koekuormituksen raportin sisältö:

- kuvaus rakennuspaikasta
- pohjaolosuhteet pohjatutkimusten perusteella
- paalutyyppi
- kuvaus paalun asennuksesta ja töiden aikana havaituista ongelmista
- kuvaus kuormitus- ja mittauslaitteistosta
- kuormitussellien ja antureiden kalibrointi asiakirjat
- koepaalujen pöytäkirjat
- valokuvatallenteet paalusta ja koealueesta
- koetulokset graafisessa muodossa
- mitattu kuormitus-siirtymäkäyttäytyminen
- jos on poikettu edellä esitetystä vaatimuksista, niin perustelut niille
- perusteet paalun kimmomoduulin valinnalle
- perusteet käytetyn dynaamisen vaimennuskertoimen käytölle
- käytetty lyöntilaite ja sen ominaisuudet
- paalun painuma koekuormitusiskulla
- perusteltu arvio paalun geoteknisestä murtokestävyydestä
- lasketut minimi- ja keskiarvot koekuormitusten tuloksista
- lisätietojen tarve ja jatkotoimenpiteet.

(PO-2011, 2011, 57.)

Murtorajatilamitoituksessa paalun geotekninen puristuskestävyys osoitetaan epäyhtälön 7 avulla.

$$F_{c;d} \leq R_{c;d} \quad (7)$$

jossa

$F_{c;d}$ = mitoituskuorma

$R_{c;d}$ = paalun geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo

Epäyhtälön on toteuduttava kaikilla murtorajatilan kuormilla ja kuormitusyhdistelmillä (PO-2011, 2011, 59.)

Kun käytetään dynaamista koekuormitusjärjestelyä arvioitaessa tukipaalujen puristuskestävyyttä, niin paalun geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo määritellään koekuormitustulosten ja ennalta laskettujen korrelaatiokertoimien avulla. Korrelaatiokertoimien suuruus riippuu koekuormitettujen paalujen määrästä (taulukko 5). Dynaamisen koekuormitustuloksista saadaan paalun kapasiteetti murtorajatilassa, kapasiteetti käyttörajatilassa ja rakenteellinen kunto (PO-2011 Koulutuspäivä, 2011, 20.)

Paalun geotekninen puristuskestävyyden arvo $R_{c;d}$, johdetaan kaavasta 8

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t} \quad (8)$$

jossa

$\gamma_t =$ paalun kestävyysosavarmuusluku (1,2 betonilla)

$$R_{c;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;m})_{\text{mean}}}{\xi_5}, \frac{(R_{c;m})_{\text{min}}}{\xi_6} \right\} \quad (9)$$

jossa

ξ_5 ja $\xi_6 =$ korrelaatiokertoimia (taulukko 5)

$(R_{c;m})_{\text{mean}} =$ koekuormitustuloksien keskiarvo

$(R_{c;m})_{\text{min}} =$ koekuormitustulosten minimiarvo

Taulukko 5. Korrelaatiokertoimet, dynaaminen koekuormitus. (PO-2011, 2011 s. 75).

n*	2-4/1-4%	5-9/5-39%	10-14/40-64%	15-19/65-89%	≥2/90-100%
ξ_5	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
ξ_6	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25

*n tarkoittaa samanlaisissa pohjasuhteissa tehtyjen mittaustulosten määrää.

6.4.2 Paalun rakenne

Teräsbetonisten lyöntipaalujen rakenne ja niiden varusteet mitoitetaan materiaali-kohtaisten eurokoodien SFS-EN 1992 ja SFS-EN 1993 mukaisesti. Mitoituksen periaatteena on, että paalu mitoitetaan rakenteen murtumista vastaan. (PO-2011, 2011, 98.)

Paalut mitoitetaan:

- kuljetuksen ja varastoinnin rasitukset huomioiden
- asennuksenaikaisien kuormien mukaan
- käytön aikaiset kuormat huomioiden
- paalun ja rakenteiden säilyvyyteen vaikuttavat tekijät huomioiden
- nurjahduskestävyys huomioiden
- paalun momenttikestävyys huomioiden.

(PO-2011, 2011, 98-117.)

Paalujen rakenne määräytyy myös kohteen paalutustyöluokan mukaan (PTL1-3). Paalutustyöluokalla huomioidaan toteutustavan vaikutus paalun rakenteeseen.

Paalutustyöluokan määrittäminen tapahtuu siten, että kohteen seuraamusluokan (CC1-CC3) (liite 11) ja geoteknisen luokan (GL1-GL3) taulukossa 6 esitetyllä tavalla. Esimerkki kohteemme olisi näin ollen luokitettu CC2, GL2 ja PTL-2.

Taulukko 6. Paalutustyöluokat.(PO-2011, 2011, s.100).

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

Taulukossa 7 on esitetty eri paalutusluokkien paaluun kohdistuvan lyöntivoiman ($F_{c;lyönti}$) suurin keskeinen arvo ja geoteknisen kestävyuden ominaisarvon maksimiarvo ($R_{k;geo;max}$). Lisäksi taulukossa on esitetty lyönnin aikainen vetorasitus ($F_{t;lyönti}$).

Taulukko 7. Geoteknisen kestävyuden suurin sallittu ominaisarvon maksimiarvo ja suurin keskeinen lyöntivoima. (PO-2011, 2011, s.101).

Paalun materiaali	$F_{c;lyönti}$	$F_{t;lyönti}$	$R_{k;geo;max}$
Teräspaalu	$\leq 0,9 \cdot f_{yk} \cdot A_s$	$\leq 0,9 \cdot f_{yk} \cdot A_s$	PTL3: $R_{k;geo;max} \leq F_{c;lyönti}$ PTL2: $R_{k;geo;max} \leq 0,8 \cdot F_{c;lyönti}$ PTL1: $R_{k;geo;max} \leq 0,6 \cdot F_{c;lyönti}$
Teräsbetonipaalu	$\leq 0,8 \cdot f_{ck} \cdot A_c$	$\leq 0,9 \cdot f_{yk} \cdot A_s$	PTL3: $R_{k;geo;max} \leq F_{c;lyönti}$ PTL2: $R_{k;geo;max} \leq 0,8 \cdot F_{c;lyönti}$ PTL1: $R_{k;geo;max} \leq 0,6 \cdot F_{c;lyönti}$
Puupaalu	$\leq 0,8 \cdot f_{c,0,k} \cdot A_{min}$		PTL3: eikäytetä PTL2: $R_{k;geo;max} \leq 0,8 \cdot F_{c;lyönti}$ PTL1: $R_{k;geo;max} \leq 0,6 \cdot F_{c;lyönti}$

jossa

f_{ck} = betonin puristuslujuuden ominaisarvo

$f_{c,0,k}$ = puun puristuslujuuden ominaisarvo syiden suuntaan

f_{yk} = teräksen puristuslujuuden ominaisarvo

A_c = betonin poikkileikkauksen pinta-ala

A_{min} = puupaalun minimi pinta-ala

A_s = Terästen poikkileikkauksen pinta-ala

Paalun valmistaja määrää paalulle tietyn lyöntikestävyyden ($F_{c;lyönti}$ ja $F_{t;lyönti}$) ja geoteknisen kestävyden ominaisarvon ($R_{k;geo}$). Nämä valmistajan antamat arvot voivat olla pienemmät kuin taulukossa 7 esitetyt arvot. Paalunvalmistaja ilmoittaa paalun soveltuvuuden kuhunkin paalutustyöluokkaan. Näin ollen paalun valmistaja varmistuu tuotteensa kestävydestä asennuksen aikana (PO-2011, 2011, 100-102.)

Paalun upotuslyönnit ovat korkeudeltaan 0,1-0,2 metriä, riippuen maaperästä ja paalutyypistä. Paalun uppoamaa yhdellä lyönnillä tulee rajoittaa 0,15 metriin, jotta paalun ehjyys säilytetään. Paalun lähestyessä kalliota tai kovaa maaperää paalun uppoama pienenee koko ajan, kun uppoama 10 lyönnillä jää 10 mm:iin tulee lyönti lopettaa. Silloin voidaan olettaa, että kantavuus on riittävä (PO-2011, 2011, 203-204.)

6.5 Paalutustyön toteutus

Paalutustyö tehdään kappaleen 4 mukaan. Laadunvarmistuksen osalta koepaalutuksen jälkeen tehtäisiin dynaamiset koekuormituskokeet, joiden avulla määritellään paalun geotekninen kestävyys.

Paalutustyö dokumentoidaan tekemällä rakennustyön tarkastusasiakirja, jonka laatii kohteen vastaava työnjohtaja. Paalutuksesta pidetään paalutuspöytäkirjaa, joka on kaksiosainen. Ensimmäinen osa sisältää paalutuksen yleistiedot ja toinen osa sisältää paalun yksityiskohtaisen käyttäytymisen (PO-2011, 2011, 247.)

7 Tulokset

7.1 Työntulokset

Kohteen paalutustyö sijoittui kesään 2013. Arvioitu aikataulu oli 5.8.-20.8.2013. Toteutunut aikataulu oli 24.7- 7.8.2013.

Maankaivu oli ennen paalutusta 9.7.-25.7.2013. Tontin korkeusasema oli ennen kaivutöitä +77.00 ja +79.00 välillä. Kaivutaso A-talon ja autohallin osalla oli +77.80. B-talon puolella kaivutaso oli +76.50. Maankaivun yhteydessä tehtiin valmiit kaivannot salaojillekin (kuva 11). Kaivannon päälle levitettiin suodatin-kangas ja kankaan päälle asennettiin 500 mm soraa, jonka raekoko oli 60 mm.

Paalutustyö tehtiin tämän 500 mm:ä korkean työalustan päältä. Paalutusurakoitsijana oli Niskasen Maansiirto Oy ja paalutuskalustona oli Junttan PM 20 LC (kuva 12). Paalutus aloitettiin koepaalutuksella. Koepaalujen pituudet arvioitiin pohjatutkimuksen mukaan ja lisättiin siihen pituuteen 2 metriä, esimerkkinä paalunumero 261 (liitteet 1, 3, 7 ja 8). Koepaalujen asentamisen jälkeen paalutus jatkui työkohteen ohjeen mukaisesti (liite 4) normaalilla paalutuksella.

Paalujen mittauksen ja tarkkailumittaukset suoritti MM-Mittaus Oy. Mittauksissa käytettiin GPS-paikanninta ja takymetriä (liitteet 2 ja 9).

Paaluina käytettiin Lujabetoni Oy:n valmistamia paaluja dimensioiltaan 250x250 mm:ä ja 300x300 mm:ä. Pituudet vaihtelivat 6 ja 15 metrin välillä.

- 250x250 mm paalujen menekki 2616 jm
- 300x300 mm paalujen menekki 1069 jm

Paalutuksen jälkeen suoritettiin paalujen yläpäiden korkeusaseman mittaus. Korkeusaseman perusteella saadaan määritettyä paalun kärjen syvyyden asema ja paalun lopullinen pituus katkaisun jälkeen. Paalun katkaisun jälkeen suoritetaan paalun lopullisen aseman mittaus x- ja y-suunnassa. Tarkepiirustus laaditaan tämän tiedon perusteella (liite 3, 8 ja 9). Tietojen valmistuttua ne lähe-

tetään rakennesuunnittelijalle ja rakennuttajan edustajalle viipymättä. Tietojen perusteella rakennesuunnittelija tekee paalun, paaluryhmien ja paalurivien painopiste tarkastelut. Rakennesuunnittelija määrittää myös geoteknisen kantavuuden. Geotekninen kantavuus määritetään paalutuskaavojen (kaavat 5 ja 6) ja loppulyönti ehtojen avulla (taulukko 2).

Ympäristön huomioon ottaminen tapahtui Penttilän rantaraitille tehtyjen pisteiden tarkkailuna (liite 2). Tarkkailu aloitettiin ennen koepaalutuksen alkua ja viimeiset mittaukset tehtiin paalutuksen päätyttyä. Paalutuksesta aiheutuneet siirtymät eivät ylittäneet annettuja raja-arvoja.

Työmaan ympäristössä ei ollut pysyvää asutusta noin 200 metrin säteellä. Paalutuksesta ei aiheutunut pysyväälle asumiselle tai alueen läheisyydessä työskenteleville äänihaittoja, kun raja-arvo on 65 dB. 200 metrin päässä paalutuksesta arvioitu melutaso on noin 50 dB tai alle.

Tärinän aiheuttamia vaikutuksia arvioidaan PO-2011 mukaan siten, että määritetään kohteelle rakennustapakerroin $B_k=1,0$. Sen Jälkeen heilahdusnopeuden perusarvo $v_0=12$ mm/s, kiinteä kallio. Tärinän heilahdusnopeuden arvo saadaan kaavalla 10.

$$v = B_k \times v_0 \quad (10.)$$

jossa

v = heilahdusnopeuden ohjearvo [mm/s]

B_k = rakennustapakerroin: 1,0= teräsbetoniset asuinrakennukset

v_0 = heilahdusnopeuden perusarvo: 12 mm/s kiinteä kallio

$$v = 1,0 \times \frac{12mm}{s} = 12mm/s$$

Paalutustyöstä aiheutuva värinä lasketaan kaavalla 11. Lasketaan työn aiheuttama värinä 40 metrin päässä paalutuksesta.

$$v_{max} = k_e \times \left(\frac{\sqrt{E_{max}}}{r} \right) \quad (11.)$$

jossa

v_{max} = pystysuora heilahdusnopeus [mm/s]

k_e = kokemusperäinen kerroin, $k=1,5$

E_{max} = tehokas lyöntienergia [Nm]

r = etäisyys paalun kärjestä tarkastelukohtaan [m]

$$v_{max} = 1,5 \frac{mm}{kg} \times \left(\frac{\sqrt{0,3m \times 5t}}{40m} \right) = 0,046 \text{ mm/s}$$

Laskettuarvo jäi ohjearvoa pienemmäksi, jolloin värinän ehkäisemiseksi ei tarvittu toimenpiteitä (PO-2011, 2011, 186-188.)

Kustannuksiltaan paalutustyön osuus hankkeen kokonaistavoitearviosta oli vain noin 1,3 %. Paalutustyön litteran kustannuksissa jäätiin 2 % alle litteran tavoitteen.

Kustannusten jakautuminen on mielenkiintoinen, kun mietitään uutta ohjetta ja sen tuomia mahdollisuuksia (liite 12). Seuraavassa luettelossa on kustannusten jakautuminen toteutumien mukaan

- suunnittelu ja pohjatutkimus (arvio) 4%
(keskustelu vast. mestari Hannu Törrösen kanssa)
- paalujen hankinta 70%
- paalujen asennus: mittaus ja paalutuskone 20%
- paalujen katkaisu: alihankinta/omatyö 4%
- paalujätteiden uusiokäyttö 2%

Laadunvalvonta toteutettiin liitteessä 1 osoitetulla tavalla. Osa laadunvalvontaan ja dokumentaatioon liittyvistä tuloksista nähdään liitteistä 2-6 ja 8-9.

7.2 Vertailu

Paalutusohjeiden vertailussa huomattavimmat muutokset ovat paalun geoteknisen kestävyuden määrittelyssä. Kuormien laskenta tapahtuu uudemmassa versiossa osavarmuusluku-menetelmällä. Suunnittelijalla on määräysvalta geoteknisen kestävyuden määrittelyssä, käytetäänkö paalutuskaavoja vai koekuormitusta. Geoteknisen kestävyuden määrittelytavalla voi olla merkitystä paalumateriaalin valintaan esimerkiksi teräsbetoni vai teräs. Uudet paalutustyöluokat PTL1-3, jotka huomioivat työn toteutustavan.

Paalun valmistaja joutuu uuden ohjeen mukaan määrittelemään paalun maksimaalisen geoteknisen kestävyuden arvon ja loppulyöntiehdot paalutuskaluston mukaan. Loppulyöntiehdot määritetään myös koekuormituksista saatujen tietojen perusteella. Kappaleessa 7.1 on paalutuksen kustannuksiin liittyvä mielenkiintoinen asia, joka on paalumateriaalin osuus kustannuksista. Paalumateriaalin valinnalla on erittäin suuri vaikutus paalutuksen kokonaiskustannuksiin. Uudessa ohjeessa on mahdollisuus varmistua geoteknisestä kestävyydestä koekuormituksilla. Tutkimuksista saatujen tulosten perusteella on mahdollisuus lisätä tai vähentää paaluja tai jopa vaihtaa paalumateriaalia edellyttäen, että suunnittelija on huomioinut tämän suunnitelmissaan. Myös paalunvalmistajalta on saatava varmistus kyseisiin muutoksiin. Liitteessä 12 on käyty ohjeiden välisiä olennaisia eroja läpi.

8 Pohdinta

Opinnäytetyön idea lähti YIT Rakennus Oy:n Joensuun yksikön laskentapäällikkö Tuomo Turkalta. Työn ajatuksena oli vertailla uutta paalutusohjetta PO-

2011:tä ja LPO-2005:tä ja tutkia PO-2011:n tuomia mahdollisuuksia, kuten myös ohjeen asettamia haasteita.

Opinnäytetyön teko hetkellä ei YIT Rakennus Oy:n työmailla Joensuussa ole ollut käytössä uuden paalutusohjeen mukaista ohjeistusta. Työllä oli tarkoitus selvittää työmaan työnjohdon roolia uutta ohjetta käytettäessä ja tehdä uudet paalutuspyytäkirja mallit työnjohtajien käyttöön tulevilla kohteilla.

Haasteena näkisin koekuormitusten teon ja niiden kustannukset. Jos esimerkiksi koepaalujen täytyy tasoittua aloilleen viikon verran ennen koekuormituksia, niin näinköhän paalutuskalusto jää seisomaan työmaalle ja odottamaan viikkoa. Paalutuskaluston siirrot eivät ole mitään ilmaista toimintaa. Kalusto on niin järkeää, että sitä ei ihan miten tahansa siirrellä. Siinä tapauksessa olisi ihan järkevää jos esimerkiksi naapuritontilla jouduttaisiin tekemään koepaalutus, niin välissä voisi tehdä sen ja tehdä sen jälkeen koekuormituskokeet. Silloin olisi mahdollisuus pitää siirroista aiheutuvat kulut järkevinä.

PO-2011:n mukainen paalutus suosittelee mittauksin tapahtuvia kestävyiden ja ehjyyden varmistuksia, jolloin varmistutaan paalujen kantavuudesta ja ehjyydestä. On myös muistettava, että mittalaitteillekin on annettava jotkin lähtöarvot ja niiden kalibroinnit on suoritettava ainakin kerran vuodessa.

Itseäni kiinnostaisi kovasti koekuormitusten järjestäminen ja niiden perusteella tehdyt lopulliset paalutuksen loppulyöntien ehdot, geoteknisen kestävyiden määrittäminen, paalujen lisäys tai vähennys. Aihepiiri on itselleni mielenkiintoinen, koska aikaisemmin toimin YIT Rakennus Oy:ssä mittamiehenä.

Lähteet


- Jääskeläinen, R. 2009. Pohjarakennuksen perusteet. Tampere. Tammertekniikka/ AMK-Kustannus.
- Pöyry Finland Oy, 2011. Joensuu, Penttilä 93:1 ja 2 Pohjatutkimus. Kuopio. YIT Talonrakennus Oy
- Riihimäki, T. 2011. PO-2011 Koulutuspäivä (kalvosarja). 2011. <http://www.betoni.com/elementtirakentaminen/paalut/paaluseminaari-2011>. 2011.
- RIL-223-2005. Lyöntipaalutusohje 2005. 2005. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- RIL-254-2011. Paalutusohje 2011. 2011. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- Sivén, K & Takala, A. 2013. As Oy Joensuun Rantakivi, Rakennusselostus. Helsinki. YIT Rakennus Oy.
- Törrönen, H. 2014. Vastaava mestari. YIT Rakennus Oy. Keskustelu 22.1.2014.
- Ympäristöministeriö, 2005. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa B4, Betonirakenteet. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suomen_rakentamismaarayskokoelma%283624%29. 2005.
- Ympäristöministeriö, 2006. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa A1, Rakennustyönvalvonta. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suomen_rakentamismaarayskokoelma%283624%29. 2006.


Otteita paalutuspiirustuksesta

PAALUTUS TULEE SUORITTA A LYÖNTIPAALUTUSOHJEITA
LPO-2005/RIL223-2005 OHJEITA NOUDATTAEN

PAALUTUSLUOKKA: LPO-2005/RIL223-2005 II-LUOKKA
RASITUSLUOKKA XA1
YMPÄRISTÖLUOKKA XA1

TERÄSBETONIPAALUJEN GEOTEKNINEN KANTAVUUS ENINTÄÄN 7 MPA

PAALUT:  = 201. TERÄSBETONITUKIPAALU 250x250 mm²
KANTAVUUS 437 kN/PAALU

 = 1. TERÄSBETONITUKIPAALU 300x300 mm²
KANTAVUUS 630 kN/PAALU

ALLE 5m:n PAALUILLE HUOMIOIDAAN PITUUSVÄHENNYKSET.

PAALUN SUURIN SALLITTU POIKKEAMA: YKSITTÄISEN PAALUN 200 mm,
RIVIN TAI RYHMÄN PAINOPISTE 100 mm.

EM.SUUREMMISTA SIJAINIPOIKKEAMISTA TAI OLEELLISISTA PAALUJEN
PITUUSPOIKKEAMISTA ON ILMOITETTAVA VÄLITTÖMÄSTI RAKENNE-
SUUNNITTELIJALLE.

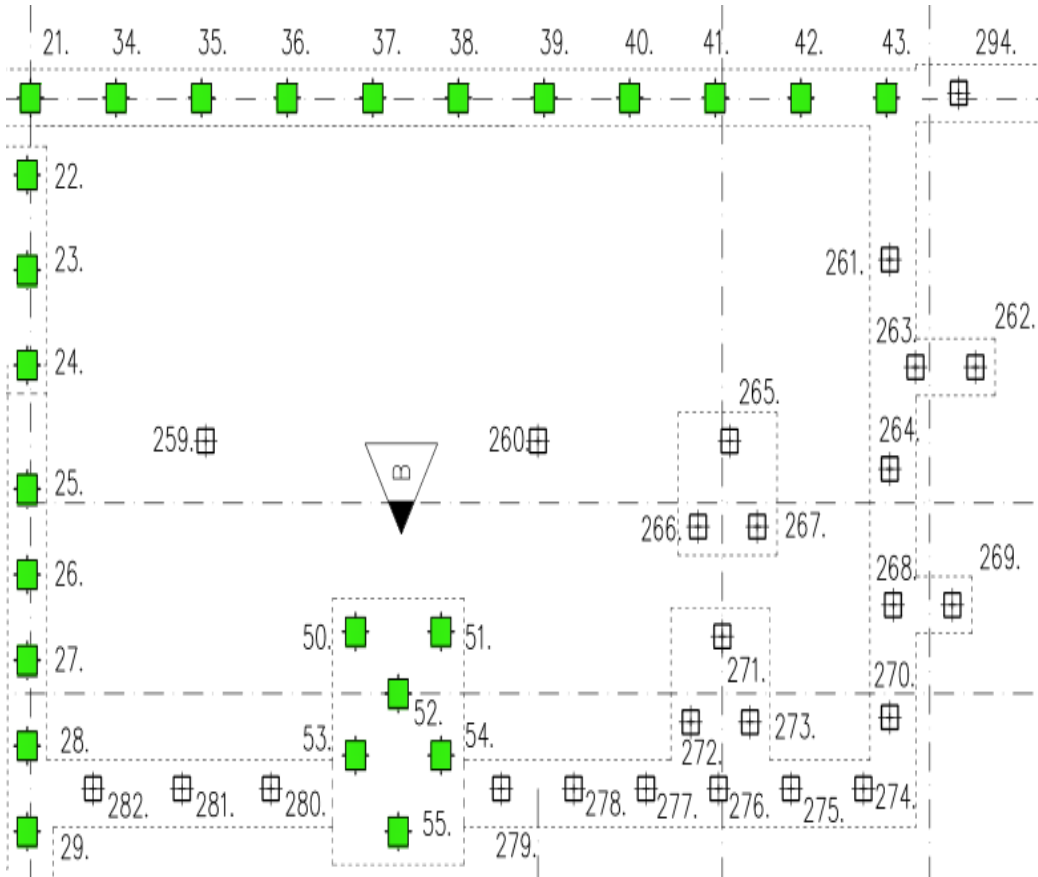
PAALUPOIKKEAMISISTA JA/TAI VIOITTUNEESTA PAALUSTA JOHTUVIEN
LISÄPAALUJEN SIJAINTI RAKENNESUUNNITTELIJAN OHJEEN MUKAAN.

PAALUJEN KATKAISUKORKO: PAALUANTURAN ALAPINNAN ±KORKO +50mm.
PAALUJEN PITUUS POHJATUTKIMUKSEN MUKAAN.

YMPÄRISTÖN RAKENTEET JA LAITTEET TULEE TARKISTAA ENNAKKOON
MAHDOLLISTEN VAURIOIDEN OSALTA N.40 m ETÄISYYDELTÄ KOHTEESTA.
TARKASTUKSESTA ON TEHTÄVÄ PÖYTÄKIRJA.

PAALUTUSTÄRINÄN AIHEUTAMAN PAINUMISVAARAN TAKIA VIEREISTEN
PERUSTUSTEN LIIKKEITÄ TARKKAILLAAN JA MITATAAN VAAITUKSIN.

PENTTILÄNRAITIN PUOLEISELLE RAJALLE ASENNETAAN TARKKAILUPISTEET
MISTÄ MITATAAN PÄIVITTÄIN PAALUTUSTYÖN AIKANA MAHDOLLISET
TAPAHTUVAT VAAKA- JA PYSTYSUUNTAISET SIIRTYMÄT.



Rantaraitin tarkkailu mittauksia

Yit Rantakivi, Penttilä, XYZ tarkkailu, lähtötilanne
 Koje Trimble S6 takymetri
 Lähtökoordinaatisto tasoitettut omat pisteet

24.7.2013 10.00

		X	Y	Z
LAHTO	TAPPI 1	1056.771	536.558	96.844
LAHTO	TAPPI 2	1058.737	488.711	96.787
LAHTO	KAIVO 1	1050.707	511.347	96.329
LAHTO	KAIVO 2	1050.289	511.708	96.327
LAHTO	KAIVO 3	1050.702	512.117	96.325

25.7.2013 7.00

					dX	dY	dZ
TAPPI 1	1056.771	536.560	96.846	0.000	0.002	0.002	
TAPPI 2	1058.741	488.714	96.786	0.004	0.003	-0.001	
KAIVO 1	1050.708	511.347	96.329	0.001	0.000	0.000	
KAIVO 2	1050.288	511.711	96.327	-0.001	0.003	0.000	
KAIVO 3	1050.701	512.121	96.324	-0.001	0.004	-0.001	

29.7.2013 7.30

					dX	dY	dZ
TAPPI 1	1056.773	536.559	96.845	0.002	0.001	0.001	
TAPPI 2	1058.739	488.712	96.788	0.002	0.001	0.001	
KAIVO 1	1050.703	511.353	96.330	-0.004	0.006	0.001	
KAIVO 2	1050.287	511.712	96.327	-0.002	0.004	0.000	
KAIVO 3	1050.700	512.118	96.326	-0.002	0.001	0.001	

30.7.2013

				dX	dY	dZ
TAPPI 1	1056.774	536.556	96.844	0.003	-0.002	0.000
TAPPI 2	1058.742	488.718	96.787	0.005	0.007	0.000
KAIVO 1	1050.705	511.353	96.330	-0.002	0.006	0.001
KAIVO 2	1050.291	511.709	96.326	0.002	0.001	-0.001
KAIVO 3	1050.704	512.117	96.324	0.002	0.000	-0.001

31.7.2013 10.00

				dX	dY	dZ
TAPPI 1	1056.776	536.548	96.845	0.005	-0.010	0.001
TAPPI 2	1058.740	488.706	96.787	0.003	-0.005	0.000
KAIVO 1	1050.707	511.341	96.330	0.000	-0.006	0.001
KAIVO 2	1050.29	511.704	96.327	0.001	-0.004	0.000
KAIVO 3	1050.703	512.107	96.325	0.001	-0.010	0.000

1.8.2013 9.00

				dX	dY	dZ
TAPPI 1	1056.774	536.554	96.845	0.003	-0.004	0.001
TAPPI 2	1058.739	488.707	96.786	0.002	-0.004	-0.001
KAIVO 1	1050.708	511.346	96.330	0.001	-0.001	0.001
KAIVO 2	1050.291	511.713	96.327	0.002	0.005	0.000
KAIVO 3	1050.704	512.113	96.325	0.002	-0.004	0.000

5.8.2013 9.00

				dX	dY	dZ
TAPPI 1	1056.768	536.555	96.846	-0.003	-0.003	0.002

TAPPI 2	1058.737	488.711	96.788	-0.002	0.000	0.002
KAIVO 1	1050.708	511.344	96.330	0.001	-0.003	-0.001
KAIVO 2	1050.292	511.712	96.326	-0.003	-0.004	-0.001
KAIVO 3	1050.701	512.112	96.324	-0.001	-0.005	-0.001

6.8.2013 9.00

				dX	dY	dZ
TAPPI 1	1056.766	536.554	96.846	-0.005	-0.004	0.002
TAPPI 2	1058.737	488.709	96.788	-0.002	-0.003	0.001
KAIVO 1	1050.709	511.345	96.331	0.002	-0.002	0.002
KAIVO 2	1050.291	511.712	96.326	0.002	0.004	-0.001
KAIVO 3	1050.701	512.113	96.324	-0.001	-0.004	-0.001

Tarkemittaus ja paaluluettelo 1-55 ja 254-282

As Oy Rantakivi									
Tarkemittaus									
Paaluluettelo Teräsbetonipaalu 300x300									
Paalunro	Paalun YP:n korko katkaisu	Paalun AP:n korko arvio	Paalun arvio pit	Lyöty [m]	Paalun YP:n korkeus	Paalun AP:n korko	Paalun loppu pituus [m]	Poikkeama X [mm]	Poikkeama Y [mm]
1.	78,250	71,500	6,750	10	83,3	73,3	4,950	33	-17
2.	78,250	71,500	6,750	6	79,25	73,25	5,000	54	-8
3.	78,250	71,500	6,750	6	79,25	73,25	5,000	-31	-128
4.	78,150	71,500	6,650	6	79,55	73,55	4,600	51	-45
5.	78,150	71,500	6,650	6	79,65	73,65	4,500	-2	-110
6.	78,150	71,500	6,650	6	79,85	73,85	4,300	32	-80
7.	78,150	71,500	6,650	6	80,05	74,05	4,100	24	52
8.	78,150	71,500	6,650	7	80,15	73,15	5,000	-32	-7
9.	78,150	71,500	6,650	6	79,2	73,2	4,950	-3	39
10.	78,150	71,500	6,650	7	78,45	71,45	6,700	-16	-10
11.	78,150	70,500	7,650	7	79,35	72,35	5,800	76	28
12.	78,150	70,500	7,650	8	78,35	70,35	7,800	-27	-46
13.	78,150	70,500	7,650	9	78,55	69,55	8,600	-20	-27
14.	78,150	70,500	7,650	10	78,5	68,5	9,650	-38	17
15.	78,150	70,500	7,650	10	78,25	68,25	9,900	20	98
16.	78,150	70,500	7,650	10	78,7	68,7	9,450	-47	-28
17.	78,150	70,500	7,650	10	78,6	68,6	9,550	-32	-108
18.	77,340	71,500	5,840	6	79,94	73,94	3,400	18	71
19.	77,340	71,500	5,840	6	79,04	73,04	4,300	137	45
20.	78,150	71,500	6,650	7	81,15	74,15	4,000	184	-34
21.	78,150	71,500	6,650	6	80,85	74,85	3,300	56	70
22.	77,340	71,500	5,840	6	81,69	75,69	1,650	98	98
23.	77,340	71,500	5,840	6	79,74	73,74	3,600	94	178
24.	77,340	71,500	5,840	6	79,84	73,84	3,500	12	48
25.	78,150	71,500	6,650	6	80,15	74,15	4,000	39	101
Paalunro	Paalun YP:n korko katkaisu	Paalun AP:n korko arvio	Paalun arvio pit	Lyöty [m]	Paalun YP:n korkeus	Paalun AP:n korko	Paalun loppu pituus [m]	Poikkeama X [mm]	Poikkeama Y [mm]
26.	78,150	71,500	6,650	7	81,55	74,55	3,600		
27.	78,150	71,500	6,650	7	80,45	73,45	4,700	74	1
28.	78,150	71,500	6,650	7	78,85	71,85	6,300	5	114
29.	78,150	71,500	6,650	7	78,5	71,5	6,650	-8	19
30.	78,150	71,500	6,650	7	79	72	6,150	39	-18
31.	78,150	70,000	8,150	7	78,95	71,95	6,200		
32.	78,150	70,000	8,150	8	79,85	71,85	6,300		
33.	78,150	70,000	8,150	11	80,25	69,25	8,900		
34.	78,150	72,000	6,150	6	81,05	75,05	3,100	-9	0
35.	78,150	72,000	6,150	6	81,45	75,45	2,700	18	-59
36.	78,150	72,000	6,150	6	80,95	74,95	3,200	90	-19
37.	78,150	72,000	6,150	7	82,65	75,65	2,500	35	93
38.	78,150	72,000	6,150	7	80,65	73,65	4,500	-5	-24
39.	78,150	72,000	6,150	7	80,95	73,95	4,200	38	75
40.	78,150	72,000	6,150	7	80,9	73,9	4,250	-16	-30
41.	78,150	72,000	6,150	7	80,8	73,8	4,350	123	-14
42.	78,150	72,000	6,150	7	80,55	73,55	4,600	23	-68
43.	78,150	72,000	6,150	7	80,35	73,35	4,800	-101	-60
44.	78,100	72,500	5,600	7	78,9	71,9	6,200	69	-19
45.	78,100	72,500	5,600	7	78,75	71,75	6,350	92	168
46.	78,100	72,500	5,600	7	78,6	71,6	6,500	-60	-13
47.	78,100	72,500	5,600	7	78,65	71,65	6,450	0	0
48.	78,100	72,500	5,600	7	78,55	71,55	6,550	0	0
49.	78,100	72,500	5,600	7	78,5	71,5	6,600	0	0
50.	77,950	71,500	6,450	7	81,6	74,6	3,350	-79	-219
51.	77,950	71,500	6,450	7	80,55	73,55	4,400	106	16
52.	77,950	71,500	6,450	7	81,1	74,1	3,850	-119	-5
53.	77,950	71,500	6,450	7	81,43	74,43	3,520	-143	22
54.	77,950	71,500	6,450	7	80,3	73,3	4,650	14	-91
55.	77,950	71,500	6,450	7	80,91	73,91	4,040	-9	-90

Paalunro	Paalun YP:n korko	Paalun AP:n korko arvio	Paalun arvio pit	Lyöty [m]	Paalun YP:n korkeus	Paalun AP:n korko	Paalun loppu pituus [m]	Poikkeama X [mm]	Poikkeama Y [mm]
254.	81,330	72,000	9,330	10	85,33	75,33	6,000		
255.	81,330	72,000	9,330	8	83,23	75,23	6,100		
256.	81,330	72,000	9,330	8	82,33	74,33	7,000		
257.	81,330	72,000	9,330	8	82,68	74,68	6,650		
258.	80,340	72,000	8,340	8	82,04	74,04	6,300		
259.	79,050	71,500	7,550	7	80,45	73,45	5,600		
260.	79,050	72,000	7,050	7	79,95	72,95	6,100		
261.	78,150	72,500	5,650	8	81,2	73,2	4,950	-34	11
262.	78,150	72,500	5,650	8	poikki			-49	74
262A.	78,150	72,500	5,650	8	81,2	73,2	4,950	-253	-263
263.	78,150	72,500	5,650	8	81,1	73,1	5,050	-10	9
264.	78,150	72,500	5,650	8	80,7	72,7	5,450	79	-15
265.	78,150	72,500	5,650	9	82,35	73,35	4,800	-78	-36
266.	78,150	72,500	5,650	7	80,55	73,55	4,600	48	-66
267.	78,150	72,500	5,650	8	82,9	74,9	3,250	-6	-120
268.	78,150	72,500	5,650	8	80,15	72,15	6,000	-60	98
269.	78,150	72,500	5,650	8	79,85	71,85	6,300		
270.	78,150	72,500	5,650	8	80,25	72,25	5,900	-15	-15
271.	78,150	72,500	5,650	7	80,6	73,6	4,550	119	-18
272.	78,150	72,500	5,650	7	81,95	74,95	3,200	-24	-100
273.	78,150	72,500	5,650	8	79,65	71,65	6,500	-54	-126
274.	78,150	72,500	5,650	8	80,35	72,35	5,800	118	-87
275.	78,150	72,500	5,650	8	78,75	70,75	7,400	64	-245
276.	78,150	72,500	5,650	7	78,15	71,15	7,000	24	-33
277.	78,150	72,500	5,650	8	81,8	73,8	4,350	221	-100
278.	78,150	72,500	5,650	7	81,25	74,25	3,900	47	-51
279.	78,150	72,500	5,650	7	80,15	73,15	5,000	287	-162
280.	78,150	71,500	6,650	7	79,05	72,05	6,100	19	-35
281.	78,150	71,500	6,650	7	79,1	72,1	6,050	-87	-140
282.	78,150	71,500	6,650	7	79,1	72,1	6,050	-43	17

Tekijä: Marko Määttä

Paalutuskohteen ohje



YIT Rakennus Oy
Talonrakennus Joensuun alue

Paalutuskohteen ohje

1 (2)

PAALUTUSKOHTTEEN OHJE												
Paalutuskohte				Työnnumero			Päivämäärä					
As Oy Joensuun Rantakivi				27134			22.7.2013					
Tilaja				Lantija								
YIT Rakennus Oy/As Oy Rantakivi				Marko Määttä								
Paalutormittaja, puhelinnumero				Paalutusluokka								
Luja Betoni, 0445852407				IA	IB	x II	III					
PAALUTUSKALUSTO - paalutuskuone - järkäle - varusteet		Paalutus- kuone:	Junttan PM 20 LC									
		Pudotus- järkäle:	x	vapaasti putoava		vaijerilla ripustettu						
		Järkäleen massa:		2 t		3 t		4 t	x	5 t		6 t
		Muu:		paine-ilma-junta			täryjunta		ponttivasara			
		Iskutyyny:	x	azobe/koivu		muovi/koivu						
		Työalusta:		ei käytetä			x	käytetään: Sorapatja 500mm				
		Apupaalu:	x	ei käytetä			käytetään					
PAALUT -mitat	(X)	KÄYTTÄVÄT PAALUT	LUJUUS	KÄRKI-TYYPI	JATKOSTYYPPI	HUOMAUTUKSIA						
- materiaalit - varusteet		TB 250 x 250	C35/45	LKA250A								
		TB 300 x 300	C35/45	LKA300A								
		TB 350 x 350										
		puu Ø mm										
		teräs Ø mm										
		X-paalu										
		teräspontti										
AIKATAULU		Suunniteltu aloitus: 22.7.2013 päättäminen: 9.8.2013 Päivitt. työaika: klo 7.00 - 15.30										
KOEPAALUTUS		Ei tehdä	x	Tehdään: 1,33,43,102,261,291,293,305,311,3 13,316351,361,362,368,403,411,41 9,423,								
KOEKUORMITUS	x	Ei tehdä	Tehdään:									
TYÖJÄRJESTYS - paalutiden järjestys - keskinäinen lyönti- järjestys		Paalutus aloitetaan koepaalutuksella, sen jälkeen työ aloitetaan modulilinjalta 21. Työ siirtyy siitä linjoittain suuntaan modulilinja 10. Linjan 16 paaluttamisen jälkeen tehdään B-talon paalutus, linjat H-K. Viimeisenä lyödään jäljelle jääneet paalut linjoille F-H:16-10 ja As Oy Jokihelmen puolelle suunnitellut paalut. Paaluryhmät lyödään sisältä ulospäin.										
SIJAINITOLERANSSI	Yksittäinen paalu:	x	+- 200 mm		muu:							
	Paaluryhmä:	x	+- 100 mm		muu:							

ERITYISPIIRTEET, POIKKEUKSET, HUOMAUTUKSET - pohjaolosuhteet - riskit - ympäristö - työturvallisuus	Paalutustyö tehdään vesistön lähellä, Pielisjoen varrella. Kohteen ja Pielisjoen välissä kulkee Penttilän rantaraitti, joka tulevaisuudessa toimii kevyenliikenteen väylänä. Rantaraitin seurannasta FCG on tehnyt konsultaation. Rantaraitin seuranta tehdään lausunnon mukaan. Ympäristö asiat huomioidaan öljyvahinkojen varalta imeytysrakeilla.
ALLEKIRJOITUS	/ VASTAAVA MESTARI: _____

Aloituspalaveri muistio



YIT Rakennus Oy
Talonrakennus Joensuun alue

Aliurakan aloituspalaverin asialista

1 (2)

ALIURAKAN ALOITUSPALAVERI

(myös työntekijät mukaan)

Työmaa	As Oy Rantakivi	Aliurakka Paalutus
pvm	22.7.2013	Läsnä Marko Määttä, Jarmo Kalajanniska, Hannu Laukkanen

Asiat	Ok	Muistiinpanoja
1. Urakkaneuvottelumuistion kertaus ja sopimukset	<input checked="" type="checkbox"/>	
2. Aikataulu ja suoritusjärjestys	<input checked="" type="checkbox"/>	
3. Tehtävän suunniteltu tuotantonopeus / työjärjestys	<input checked="" type="checkbox"/>	Kohteen paalutustyön ohje
4. Suunnitelmat	<input checked="" type="checkbox"/>	RAK
5. Urakoitsijan toimittamat suunnitelmat	<input checked="" type="checkbox"/>	
6. Laadunvarmistussuunnitelma	<input checked="" type="checkbox"/>	LPO-2005 mukaan
7. Laatuvaatimusten tuntemus	<input checked="" type="checkbox"/>	
8. Työkohteen vastaanotto (käytä erillistä lomaketta)	<input checked="" type="checkbox"/>	
9. Mallityökohte ja sen hyväksyminen	<input checked="" type="checkbox"/>	Koepaalutus, paalutustyön ohjeen mukaan

10. Työnaikaiset tarkastukset	<input checked="" type="checkbox"/>	
11. Työnaikaiset suojaukset	<input checked="" type="checkbox"/>	
12. Työturvallisuus ja tulityöt	<input checked="" type="checkbox"/>	Ei tulitöitä
13. Aliurakan työturvallisuussuunnitelma	<input checked="" type="checkbox"/>	Aliurakan sopimuksen mukaan
14. Perehdyttäminen	<input checked="" type="checkbox"/>	Tilaaajan suorittamista urakoitsijan vastuulle kuuluvista perehdyttämisistä tullaan perimään 50€ / kerta
15. Kululupa / kuvallinen henkilötunniste	<input checked="" type="checkbox"/>	Työmaapassi
16. Materiaalien ja jätteiden käsittely	<input checked="" type="checkbox"/>	

Päiväys 22. 07. 2013

YIT:n työnjohtajan allek._____
urakkaryhmän edustaja

Liitteet:

Käyttöönottotarkastus paalutuskone

<i>Tarkastuskohde</i>	<i>OK</i>	<i>Puute/viha</i>	<i>Korjattu</i>
Peruskone			
Moottori	<input checked="" type="checkbox"/>		
Moottorin muunnin	<input checked="" type="checkbox"/>		
Kytkinvanne (vasen rumpu)	<input checked="" type="checkbox"/>		
Kytkinvanne (oikea rumpu)	<input checked="" type="checkbox"/>		
Jarruvanne (vasen rumpu)	<input checked="" type="checkbox"/>		
Jarruvanne (oikea rumpu)	<input checked="" type="checkbox"/>		
Suunnanvaihtokytkin	<input checked="" type="checkbox"/>		
Kääntö- ja lukitusvaihtokytkin	<input checked="" type="checkbox"/>		
Kääntöjarru	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ajokytkin	<input checked="" type="checkbox"/>		
Puomin nostorumpu	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ajon ohjauskytkimet	<input checked="" type="checkbox"/>		
Telasto	<input checked="" type="checkbox"/>		
Telaston vaihteisto	<input checked="" type="checkbox"/>		
Sähkölaitteet	<input checked="" type="checkbox"/>		
Paalutuslaitteet			
Köysipyörästöpukki	<input checked="" type="checkbox"/>		
Luistinpuomi	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ohjaustuet	<input checked="" type="checkbox"/>		
Keili	<input checked="" type="checkbox"/>		
Keilin jatkot kiinnityksineen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Keilin ristikonivel	<input checked="" type="checkbox"/>		
Keilin lukituskappale	<input checked="" type="checkbox"/>		
Köysipyörästöt	<input checked="" type="checkbox"/>		
Puomin pystytysvajjeri	<input checked="" type="checkbox"/>		
Puomin nostovajjeri	<input checked="" type="checkbox"/>		
Järkäleen vajjeri	<input checked="" type="checkbox"/>		
Paalun nostovajjeri	<input checked="" type="checkbox"/>		
Nostokoukut	<input checked="" type="checkbox"/>		
Hydrauliikka			
Hydraulisäiliö	<input checked="" type="checkbox"/>		
Hydraulipumppu	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ohjauspyörä	<input checked="" type="checkbox"/>		
Säätöventtiilit	<input checked="" type="checkbox"/>		
Takaiskuventtiilit	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ylivuotoventtiilit	<input checked="" type="checkbox"/>		

YIT Rakennus Oy
Talonrakennus Joensuun alue
004538 paalutuskone - lomake.doc

Tuoteohje 25.7.2013
Kö: 4538



Paalutuskoneen
käyttöönottotarkastus

2 (2)

YIT Rakennus Oy
Talonrakennus Joensuun alue

Tarkastuskohde	OK	Puute/vika	Korjattu
Hydrauliputket	<input checked="" type="checkbox"/>		
Hydrauliletkut	<input checked="" type="checkbox"/>		
Kallistussylinterit	<input checked="" type="checkbox"/>		
Alasylinteri	<input checked="" type="checkbox"/>		
Sähkölaitteet			
Laturi	<input checked="" type="checkbox"/>		
Akut	<input checked="" type="checkbox"/>		
Käynnistysmoottori	<input checked="" type="checkbox"/>		
Äänimerkki	<input checked="" type="checkbox"/>		
Hätäkatkaisin	<input checked="" type="checkbox"/>		
Työvalot	<input checked="" type="checkbox"/>		
Paineilmalaitteet			
Kompressori	<input type="checkbox"/>		
Venttiilit	<input checked="" type="checkbox"/>		
Sylinterit	<input checked="" type="checkbox"/>		
Letkut	<input checked="" type="checkbox"/>		
Putket	<input checked="" type="checkbox"/>		
Voitelulaitteet	<input checked="" type="checkbox"/>		
Turvallisuus			
Yleiskunto	<input checked="" type="checkbox"/>		
Siisteys	<input checked="" type="checkbox"/>		
Kilvet	<input checked="" type="checkbox"/>		
Työskentelypaikan olosuhteet			
Työskentelyalueen kantavuus, jyrkkyys	<input checked="" type="checkbox"/>		
Kulkureittien kunto, laatu	<input checked="" type="checkbox"/>		
Paalujen varastointi, varastopaikat	<input checked="" type="checkbox"/>		
Varottavat rakenteet	<input checked="" type="checkbox"/>		
Sähköjohdot	<input checked="" type="checkbox"/>		
Yleinen liikenne	<input checked="" type="checkbox"/>		
Työmaaliikenne	<input checked="" type="checkbox"/>		
Muut työskentelyä rajoittavat olosuhteet ja tekijät	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		

Läsnäolijat

Tarkastuksen tekijä

25.7.2013

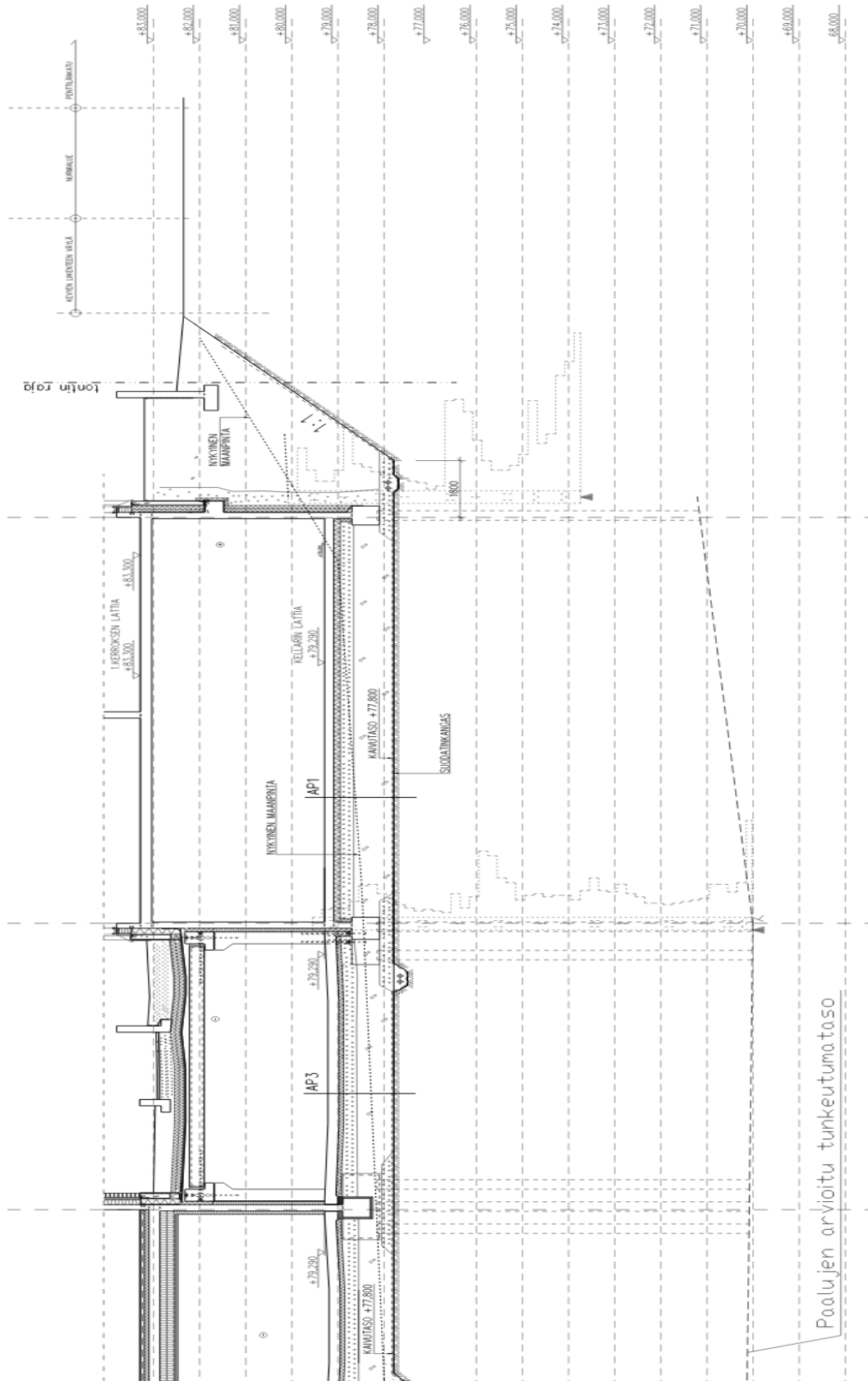
[Handwritten signature] 0400-230773
[Handwritten signature] Marko Hästö

YIT Rakennus Oy
Talonrakennus Joensuun alue
004538 paalutuskone - tarkk.doc

Tulostettu 25.7.2013

Kä: 4538

Kaivuleikkaus KL2



Paalutuspöytäkirjat 1-3

TUOTOINNE ASOY JOEKUUKA Rantaalampi	PAALUTUSKONE Puhdotehokkuus Massa		JÄÄNTÄMÄN PAINO Hyväksyttävä		PAALUTUSPÖYTÄKIRJA N:o 7					VALUVAINE Lajosi Puhdotehokkuus		LÄMPOTEHTÄVYYS Määrä Mittaus Määrä		LÄMPÖVAIKUTUS Määrä Mittaus Määrä		LÄMPÖVAIKUTUS Määrä Mittaus Määrä			
	Määrä päästö sääntö pää.	Määrä päästö sääntö pää.	Määrä päästö sääntö pää.	Määrä päästö sääntö pää.	Määrä päästö sääntö pää.					Määrä päästö sääntö pää.	Määrä päästö sääntö pää.	Määrä päästö sääntö pää.	Määrä päästö sääntö pää.	Määrä päästö sääntö pää.	Määrä päästö sääntö pää.	Määrä päästö sääntö pää.	Määrä päästö sääntö pää.	Määrä päästö sääntö pää.	
					1	2	3	4	5										
305	30	30	8	250	11.7	0.3	35	35	34	33	30	30	30	30	30	30	30	30	30
261	8	8	8	300	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
7	10	10	10	300	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
33	11	11	11	300	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
313	8	8	8	250	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
351	10	10	10	300	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
362	10	10	10	300	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
368	10	10	10	300	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
419	15	15	15	300	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
411	15	15	15	300	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
304	7	7	7	250	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
301	7	7	7	250	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
30A	7	7	7	250	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
30L	7	7	7	250	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
300	7	7	7	250	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
209	7	7	7	250	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
206	7	7	7	250	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
205	7	7	7	250	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
204	7	7	7	250	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
207	7	7	7	250	11.7	0.3	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

15.7.2013 I. K. O. 21.8.2013 J. K. O. 2013

Ura- ja rakennusministeriö

NISKANEN MAANSIRTO OY
 VIKARIEN 14
 00500 HAAPAJARVI
 Puh. 09-144500
 Faksi 09-144501

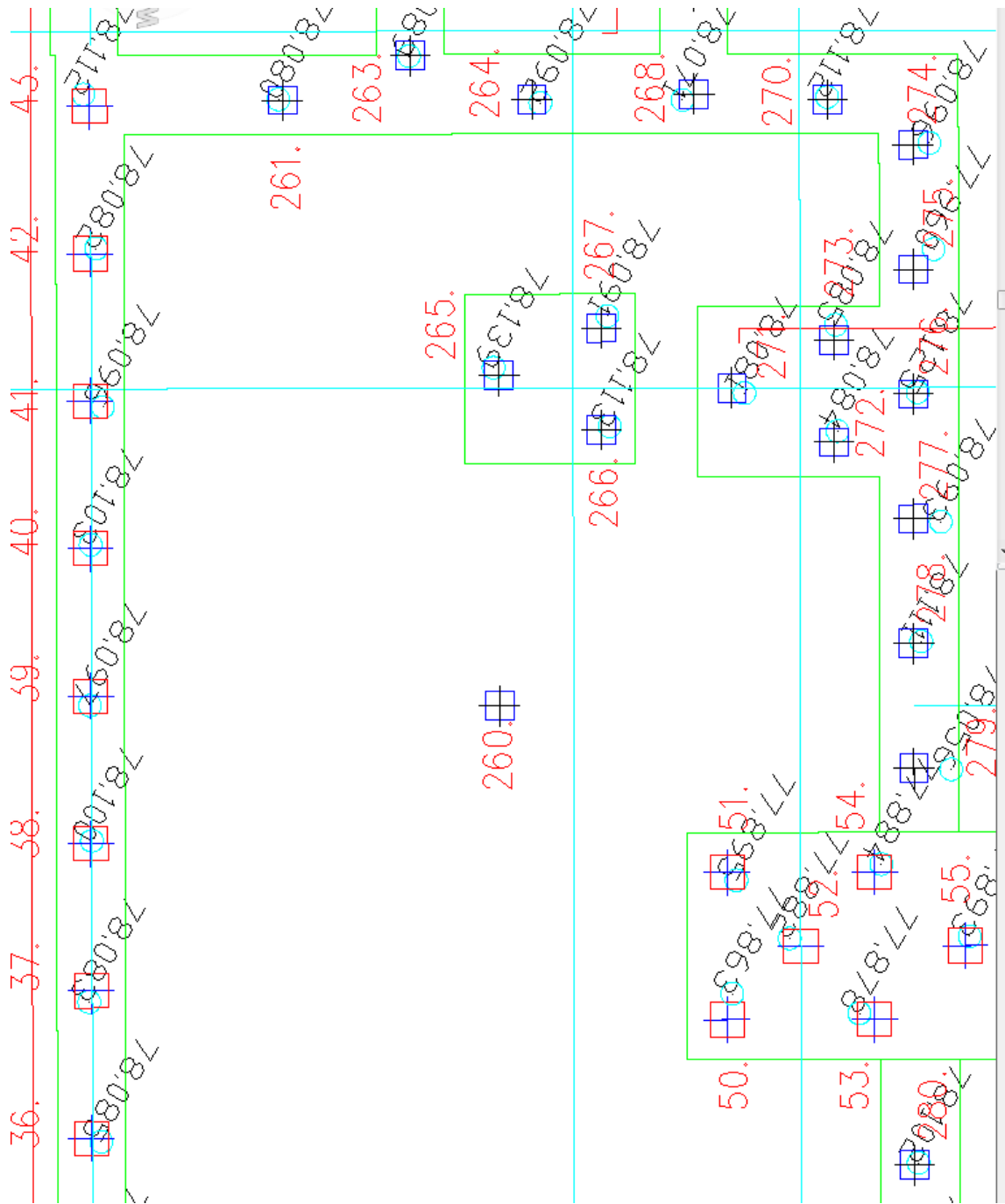
PAALUTUSPÖYTÄKIRJA, n:o 2

Pöytäkirja A0 04 Järjestyksen RANKA Kivi	PAALUTUSKOKOUS Puolestaolijaksi Mies		SANTIAN PÄÄLLE Hyväksyttävä					PAALUTUSKOKOUS Läsnä Puuteita		SÄÄNTÖMÄÄRÄ Käytetty		SÄÄNTÖMÄÄRÄ Käytetty		SÄÄNTÖMÄÄRÄ Käytetty		SÄÄNTÖMÄÄRÄ Käytetty		SÄÄNTÖMÄÄRÄ Käytetty		SÄÄNTÖMÄÄRÄ Käytetty		
	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min	Ennen vähintään 5 min
306	7	150	25	23	0,3	30	30	28	27	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
307	7	*	*	*	*	28	27	26	26	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
308	7	*	*	*	*	30	30	28	27	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
309	7	*	*	*	*	29	28	27	27	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
310	8	*	*	*	*	30	30	28	27	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
314	8	*	*	*	*	28	27	26	26	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
311	8	*	*	*	*	30	30	28	27	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
312	8	*	*	*	*	35	34	27	27	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
350	10	*	*	*	*	32	30	30	30	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
349	10	*	*	*	*	26	30	30	30	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
348	10	*	*	*	*	26	30	30	30	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
346	10	*	*	*	*	29	29	27	27	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
315	10	*	*	*	*	30	30	28	27	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
303	8	*	*	*	*	28	28	27	27	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
298	8	*	*	*	*	10	1	1	1	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
298A	8	*	*	*	*	30	31	30	30	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
41	7	200	*	*	*	24	24	23	22	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
47	7	*	*	*	*	24	23	20	20	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
49	7	*	*	*	*	24	24	21	21	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77

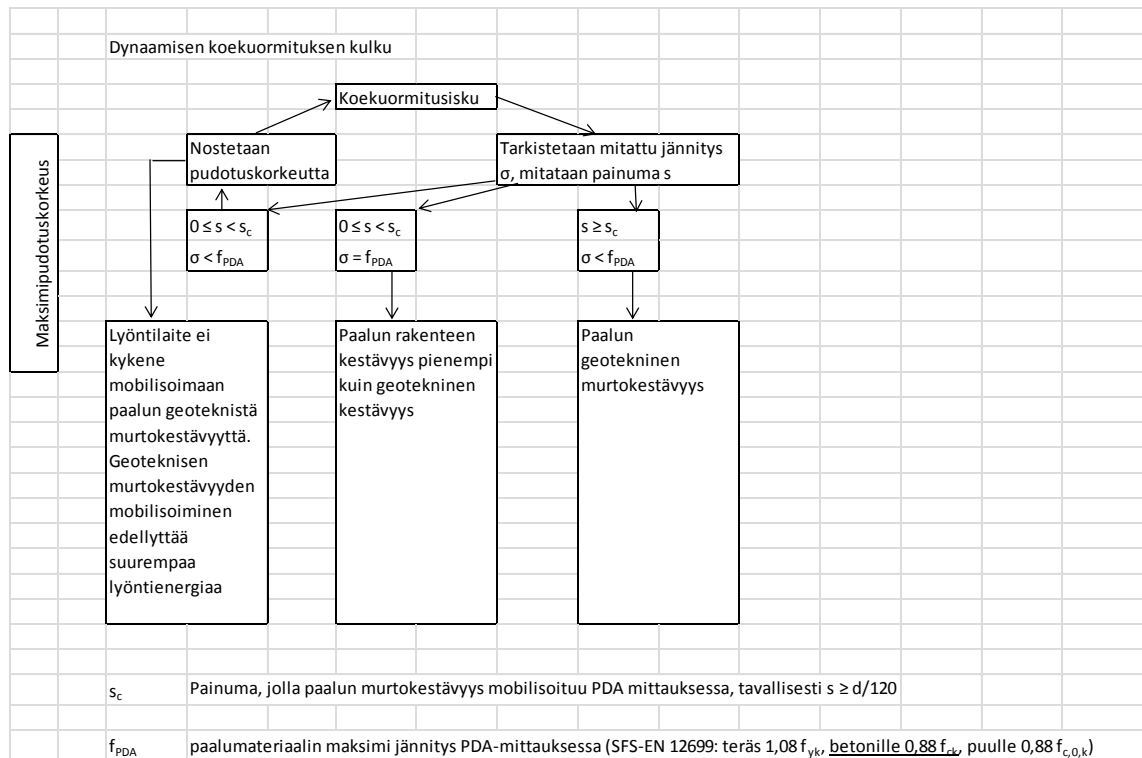
15.7.2013 I. P. P. 9.8.2013
Urastuomari Antti Peltola

NISKANEN MAANSIRTO OY
Viereitie 1A
05500 HAAPAJÄRVI
Puh. 08-194400
Fak. 08-194501

Paalujen tarkepiirustus



Dynaamisen koekuormituksen kulku



Lähde: PO-2011, s.74

Standardin SFS-EN 1990 mukaiset seuraamusluokat

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten: <ul style="list-style-type: none"> • yli 8-kras asuin-, konttori- ja liikerakennukset • konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot • raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälisiä sisältävät rakennukset Erikoisrakenteet kuten mastot ja tornit Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet hienorakeisten maalajien aluella siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten tai pienien tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1 ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleilee ihmisiä kuten varastot Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa <ul style="list-style-type: none"> • matalat alapohjat • ryömintätilaiset vesikatot • Rakenteet joihin kohdistuu ilmanpaine-eroista johtuva sivuttaiskuormitus

Tutkimusraportti

Opinnäytetyön tutkimus

LPO-2005 ja PO-2011 vertailua																																						
Asiayhteys	Vertailtavat ohjeet																																					
	LPO-2005	PO-2011																																				
Suunnittelujärjestelmä	RAKMK, kokonaisvarmuusluku menetelmä	Eurokoodi, osavarmuuslukumenetelmä																																				
Pohjatutkimus	B3 ja EN 1997-1	SFS-EN 1997-1 ja SFS-EN 1997-2																																				
Paalutusluokat	Vaativuusluokat A ja AA; paalutusluokat PL3, PL2, PL1	seuraamusluokitus (CC3-CC1), geotekninen luokitus (GL1-GL3), Paalutustyöluokat (1-3)																																				
Paalunmerkintä	Valmistaja, valupäivä, paalun tyyppi, pituus, paino, tarkastetun valmistuksen toimielin merkki	CE-merkintä																																				
Betoni	C35/45, C40/50	C35/45, C40/50																																				
Betoniteräs	A500HW, A700HW, B500K, B700K	A500HW, A700HW, B500K, B700K																																				
Paalunvarusteet	Kalliokärjet, maalevyt, mekaaniset jatkoskappaleet	Kalliokärjet, maalevyt, mekaaniset jatkoskappaleet																																				
Paalun geotekninen mitoitus	Geotekninen kantavuus keskeinen puristusjännitys, paalutuskäyvät R_m , kaavat 5 ja 6	<p>Geotekninen kestävyys: (suositus) dynaaminen koekuormitus ja laskenta korrelaatiokertoimien avulla, R_{ed}. Voidaan myös käyttää paalutuskäyviä.</p> <p>Kertoimet dynaamisessa koekuormituksessa</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>n°</th> <th>2-4/1-4%</th> <th>5-9/5-39%</th> <th>10-14/40-64%</th> <th>15-19/65-89%</th> <th>22/90-100%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ξ5</td> <td>1,6</td> <td>1,5</td> <td>1,45</td> <td>1,42</td> <td>1,4</td> </tr> <tr> <td>ξ6</td> <td>1,5</td> <td>1,35</td> <td>1,3</td> <td>1,25</td> <td>1,25</td> </tr> </tbody> </table> <p>Kertoimet paalutuskäyviä käytettäessä jos joustoja ei mitata</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>n°</th> <th>≥2</th> <th>≥5</th> <th>≥10/50%</th> <th>≥15</th> <th>≥20/100%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ξ5</td> <td>1,92</td> <td>1,8</td> <td>1,74</td> <td>1,7</td> <td>1,68</td> </tr> <tr> <td>ξ6</td> <td>1,8</td> <td>1,62</td> <td>1,56</td> <td>1,5</td> <td>1,5</td> </tr> </tbody> </table> <p>Dynaamista koekuormitusta käyttämällä saadaan samalle paalulle parempi ja luotettavampi geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo, R_{ed}</p>	n°	2-4/1-4%	5-9/5-39%	10-14/40-64%	15-19/65-89%	22/90-100%	ξ5	1,6	1,5	1,45	1,42	1,4	ξ6	1,5	1,35	1,3	1,25	1,25	n°	≥2	≥5	≥10/50%	≥15	≥20/100%	ξ5	1,92	1,8	1,74	1,7	1,68	ξ6	1,8	1,62	1,56	1,5	1,5
n°	2-4/1-4%	5-9/5-39%	10-14/40-64%	15-19/65-89%	22/90-100%																																	
ξ5	1,6	1,5	1,45	1,42	1,4																																	
ξ6	1,5	1,35	1,3	1,25	1,25																																	
n°	≥2	≥5	≥10/50%	≥15	≥20/100%																																	
ξ5	1,92	1,8	1,74	1,7	1,68																																	
ξ6	1,8	1,62	1,56	1,5	1,5																																	
Paalun rak. Mitoitus	Puristus, lyönti, nurjahdus, veto, taivutus leikkaus	Puristus, lyönti, nurjahdus, veto, taivutus leikkaus																																				
Rakennesuunnitelma	Paalujen sijaintipiirustus, katkaisutapa ja tarkkuus, paaluperustuspiir., rak.mitoituslaskelmat	Paalujen sijaintipiirustus, katkaisutapa ja tarkkuus, paaluperustuspiir., rak.mitoituslaskelmat																																				
Paalun katkaisu	50 mm anturan alapintaa ylempää	50 mm anturan alapintaa ylempää																																				
Keskiötäisyydet	Taulukko 3.	Taulukko 3.																																				
Paalun reunaetäisyys anturasta	Kappale 3.9.1	Kappale 3.9.1																																				
Paalujen poikkeamat	Taulukko 4.	Taulukko 4.																																				
Paalutustyönjohtaja	RakMk osa A1, maankäyttö- ja rakennuslaki §122, teknillinen- tai korkeakoulututkinto ja useamman vuoden työkokemus paalutuksesta	RakMk osa A1, maankäyttö- ja rakennuslaki §122, teknillinen- tai korkeakoulututkinto ja useamman vuoden työkokemus paalutuksesta																																				
Paalutuskalusto	Junttan PM 20 LC, kuva 12. SFS-EN 996	Junttan PM 20 LC, kuva 12. SFS-EN 791 ja SFS-EN 996																																				
Paalun asennus	Painuma 100-150mm/lyönti	Painuma 100-150mm/lyönti																																				
Ympäristön huomiointi	Tärinä, melu, pohjavesi, maan huokosveden nousu, muut paalut, johdot, kaivannot, vesistöalueet, ympäröivät rakennukset	Tärinä, melu, pohjavesi, maan huokosveden nousu, muut paalut, johdot, kaivannot, vesistöalueet, ympäröivät rakennukset																																				
Laadunvarmistus	Paalutusluokassa II tukipaalujen loppulyönti ehdot tarkistaan paalutuskäyvä 5 tai 6 avulla, painopisteiden ja sijaintien tarkastaminen. Paalujen ja ympäristön mittapisteiden siirtymien seuranta. RakMk A1 määrittelee työnjohtajan paalutukselle	Tukipaaluille suositellaan dynaamista koekuormitusta, loppulyöntiehtojen määrittämiseksi, töitä valvotaan standardin EN 1997-1 lukujen 4-7 mukaisesti. Materiaalien laadunvalvonta standardin SFS-EN 206-1 mukaisesti. Paalujen lopullisen sijainnin mittaus ja painopisteiden laskeminen.																																				
Työturvallisuus	Paalutuskaluston täytyy täyttää standardin SFS-EN-996 vaatimukset	Paalutuskaluston täytyy täyttää standardien SFS-EN-996 ja SFS-EN 791 vaatimukset.																																				
Dokumentointi	Rakennustyön asiakirja, paalutustyön tarkastusasiakirja	Rakennustyön asiakirja, paalutuspöytäkirja kaksi osainen: yleinen osa ja paalukohtainen osa. Dokumentointi standardin SFS-EN 1997-1 mukaisesti																																				
Suunnittelija	Suunnitellut paalut lyödään ja lisätään tarvittaessa. Geoteknisen kantavuuden määrittäminen paalutuskäyviä 5. tai 6.	Koepaalutus -> dynaamiset koekuormitukset -> geoteknisen kestäväyyden määrittäminen -> paalujen lisääminen tai vähentäminen. Tämä polku huomioitava suunnitteluvaiheessa.																																				

Paalutuspöytäkirja yleinen osa, malli

PAALUTUSPÖYTÄKIRJA			
Kohde	Työnumero	Laatija	Päivämäärä
Osoite		Kaupunki	
Kaupunginosa tai rakenne		Kortteli tai rakenne	Tontti/Rn.O

PAALUTUSURAKOITSIJAT		
Paalutustyönjohtaja	Puh.	Fax/email
Paalutuskoneen käyttäjä	Puh.	Fax/email

RAKENNUTTAJA/TILAAJA		
Tilajan edustaja kohteessa	Puh.	Fax/email

POHJARAKENNESUUNNITTELIJA		
Vastuhenkilö	Puh.	Fax/email

PAALUTUSKALUSTO						
Paalutuskone	Laitetunnus	Upotuslaite			Paalutuskoneen käyttäjä(t)	
Pudotusjärkälä	Vapaasti putoava		vajerilla ripustettu		Hydr. kiihdytetty	
Järkälän massa	2t	3t	4t	5t	6t	
Muu	Paineilma junta	Täryjunta	Ponttivasara			
Iskutyyny	Azobe/koivu	Muovi/koivu				
Työalusta	Käytetään	Ei käytetä				
Apupaalu	Käytetään	Ei käytetä				

PAALUT							
(x)	Tyyppi	Lujuus	Kärki-tyyppi	Jatkostyyppi	Paalutustyönlk.	Piirustus n:o	Määrä [kpl], [m]
	TB250x250						
	TB300x300						
	TB350x350						
	puu Ø mm						
	teräs Ø mm						
	X-paalu						
	Teräspontti						

UPOTUKSEN LOPETUSEHDOT

Tyyppi	Laitetunnus	Upotuksen lopetusehto

KOEPAAALUTUS

Koepaalutus	Tehdään	Ei tehdä
Koepaalut		
Koekuormitus	Tehdään	Ei tehdä
Koekuormituspaalut		

AIKATAULU

	Suunnitelma	Toteutunut
Koepaalutus		
Paalutus		
Päivittäinen työaika		

TYÖJÄRJESTYS

-paalutöiden järjestys -keskinäinen lyöntijärjestys	
--	--

SIJAINITOLERANSSIT

Yksittäinen paalu	± 200 mm	REK:01
Paaluryhmä	± 100 mm	REK:02

ERITYISPIIRTEET, POIKKEUKSET, HUOMAUTUKSET

-pohjaolosuhteet -riskit -ympäristö -työturvallisuus	
---	--

ALLEKIRJOITUS

Paikka	Aika	Paalutustyöjohtajan allekirjoitus	Nimenselvennys

Paalukohtainen pöytäkirja, malli


**PAALUTUSPÖYTÄKIRJA
PAALUKOHTAINEN**

YIT Rakennus Oy

Talonrakennus Joensuun alue

Paalu	Paalun numero:	Paalukoko:	Paalutyyppe	Upotuspäivämäärä:			
	Valmistaja:	Valmistuspäivämäärä:	Jatkostyyppi	Kärki			
Kohde	Kohteen nimi:						
Osoite:							
Paalutusurakoitsija:							
Sijainti	vaakataso	Suunniteltu	Toteutunut	Ero			
		X	X	ΔX mm			
		Y	Y	ΔY mm			
Paalun kaltevuus				mm/m			
Suunta mittalinjan suhteen		gon	gon	gon			
käytetty mittalinja							
Paalun yläpään taso				m			
Paalun kärjen taso				m			
Paalun pituus				m			
Ehjyys	Ehjyysluokka	Ehjyysmittausmittaus pvm/mittaaja:					
Koekuormitus		Koekuormituksen tekijä:					
Päivämäärä:	Menetelmä:	Raportti n:o:	Tulos:				
Upotus	Työskentelytaso:	Paalutuskoneen käyttäjä:		Laitetunnus:			
Klo	Paalun pituus [m]	Upotuskorkeus [m] tai lyöntienergia [kJ/m]	Iskujen lkm	Kärjen syvyys [m]	Loppulyönnit	HUOMAUTUKSIA (esteet, keskeytykset työssä, paalun vaurioitumiset tms.)	
					S ₁₀ [mm]	Jousto [mm]	
Päivämäärä:	Paalutustyönjohtajan allekirjoitus ja nimenselvennys:						