
KAIVINPAALUSEINÄN RAKENTAMINEN KELLY- MENETELMÄLLÄ JA KAIVINPAALUSEINÄN LAATUONGEL- MAT

Risto Savolainen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Risto Savolainen	
Työn nimi Kaivinpaaluseinän rakentaminen Kelly-menetelmällä ja kaivinpaaluseinän laatuongelmat	
Päiväys 29.4.2011	Sivumäärä/Liitteet 52/0
Ohjaaja(t) Lehtori Raimo Lehtiniemi, Laboratorioinsinööri Juha Pakarinen, työnjohtaja DI Niko Asikainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Skanska Infra Oy/ työnjohtaja DI Niko Asikainen	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän työn tavoitteena oli laatia Skanska Infra Oy:lle menetelmäkuvaus kaivinpaaluseinän rakentamisesta Kelly-menetelmällä, sekä dokumentoida kaivinpaaluseinän laadullisia tekijöitä siinä laajuudessa, kuin se työmaan edistymisen puolesta oli mahdollista. Tämän lisäksi oli tavoitteena tallentaa Kuopion Alatorihankkeessa saadut kokemukset Kelly-menetelmän soveltuvuudesta kohteeseen ja koota aihetta koskevaa ulkomaista tutkimuskirjallisuutta suomenkieliseen muotoon.</p> <p>Menetelmäkuvaus kirjoitettiin Alatorihankkeessa kesällä 2010 saatujen kokemusten sekä lähdekirjallisuudesta löytyvien ohjeiden perusteella. Kaivinpaaluseinän laadullisia tekijöitä etsittiin lähdekirjallisuudesta, jotta saatiin tietopohja johon mahdollisia laadullisia poikkeamia voitaisiin verrata. Tämän jälkeen Alatorihankkeen kaivinpaaluseinistä etsittiin laadullisia poikkeamia ja löytyneet poikkeamat valokuvattiin, ja poikkeamien syitä analysoitiin lähdekirjallisuudesta löytyvien esimerkkien pohjalta.</p> <p>Tulosten perusteella Kelly-menetelmä vaikuttaa sopineen menetelmänä hyvin Kuopion Alatorihankkeen olosuhteisiin, ja on todennäköisesti varteenotettava vaihtoehto vastaavanlaisiin hankkeisiin. Kaivinpaaluseinistä ei ole paljoa tutkimustietoa saatavilla, ja tästä syystä vastaisuudessa olisi tarpeellista dokumentoida kaivinpaaluseinistä saatuja kokemuksia nykyistä kattavammin.</p>	
Avainsanat Kaivinpaalutus, kaivinpaaluseinä, Kelly-menetelmä, paalutus	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Construction Engineering			
Author(s) Risto Savolainen			
Title of Thesis Construction of secant pile wall with the Kelly method and defects found in secant piles			
Date	29.4.2011	Pages/Appendices	52/0
Supervisor(s) Mr. Raimo Lehtiniemi, Lecturer; Mr. Juha Pakarinen, Laboratory Engineer; Mr. Niko Asikainen, Foreman M.Sc. (tech.)			
Project/Partners Skanska Infra Oy/ Mr. Niko Asikainen, Foreman M.Sc. (tech.)			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to draft a process description for constructing a secant pile wall with the Kelly method as well as to study and document the defects found in secant piles. The secant pile walls discussed in this thesis were constructed during the Kuopio Alatori-Project and are the first secant pile walls constructed by applying the Kelly method in Finland. This thesis was commissioned by Skanska Infra Oy.</p> <p>The process description was based on first hand experiences on the work site and also on instructions found in literature. A literature survey was conducted to find defects that might possibly be found in the secant piles of the completed secant pile wall. The work site was then surveyed for pile defects in the extend which was possible by the progression of the project. The found defects were then photographed and the cause of the defect was analyzed by comparing the defect to examples found in source books.</p> <p>By the results acquired so far the Kelly method seems to have been suitable for the conditions of the Alatori-project since no major problems were encountered. Today there is very little Finnish literature available on secant pile walls and especially on the defects found in secant piles. That is why it is important that in the future all available data about secant pile walls should be documented in order to increase and also to preserve information about the different variations of bored piling in Finland. This way valuable knowledge on bored piling would not be lost and the experiences gained in our soil conditions could be compared to those found in foreign literature.</p>			
Keywords bored piling, rotary bored piling, secant pile wall, Kelly method			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	2
2	KAIVINPAALUSEINÄ	3
2.1	Rakenne ja materiaalit.....	3
2.1.1	Betoni.....	4
2.1.2	Raudoitteet.....	5
3	KAIVINPAALUSEINÄN RAKENTAMINEN KELLY-MENETELMÄLLÄ	6
3.1	Työkohde.....	6
3.2	Paalutuskalusto	8
3.3	Paalutuskoneen työkalut.....	9
3.3.1	Auger-kairat.....	9
3.3.2	Pora- puhdistuskauhat.....	10
3.3.3	Sydänkairat	11
3.3.4	Työputki.....	11
3.3.5	Erikoistyökalut ja lisälaitteet.....	13
3.4	Valmistelevat työt	13
3.5	Ohjainkaulus.....	14
3.6	Paalukaivannon kaivu ja työputken maahan upottaminen.....	15
3.7	Paalukaivannon pohjan puhdistaminen.....	17
3.8	Raudoitteen asentaminen paalukaivantoon	18
3.9	Betonointi ja työputken poistaminen kaivannosta.....	21
3.10	Paalujen valmistusjärjestys	24
3.11	Ankkurointi.....	25
3.12	Kalliotapitus	29
3.13	Juuripalkki.....	30
4	KAIVINPALUSEINÄN LAATUONGELMAT	31
4.1	Ongelmat kaivun aikana	31
4.1.1	Onkalot.....	32
4.1.2	Paalukaivannossa olevat lohkat	35
4.2	Paalun pohjan ongelmat.....	36
4.3	Betonointi	38
4.3.1	Vääränlaisesta betonista aiheutuvat ongelmat.....	38
4.3.2	Väärin suunnitellusta raudoitteesta aiheutuvat ongelmat	39
4.3.3	Betonoinnin ongelmat.....	39
4.3.4	Työputken poistamiseen liittyvät ongelmat	40
4.4	Paalujen valmistusjärjestyksen vaikutus betonointiin	41
4.5	Pohjaveden virtauksesta betonille aiheutuvat ongelmat.....	43

4.6 Ongelmat pehmeässä maaperässä	43
4.7 Havaintoja Kelly-menetelmään ja laadullisiin tekijöihin Alatorihankkeen osalta	44
4.7.1 Kelly-menetelmän soveltuvuus työkohteeseen	44
4.7.2 Kaivinpaaluseinissä havaittuja ja mahdollisia odotettavissa olevia laadullisia tekijöitä.....	47
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	51
LÄHTEET.....	52

ALKUSANAT

Haluan ensiksi kiittää Skanska Infra Oy:tä, ja työnjohtaja Niko Asikaista mahdollisuudesta päästä tutustumaan kaivinpaalutustyöhön Kuopion Alatorihankkeessa, sekä mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö aiheesta. Toisena haluaisin kiittää Lehtori Raimo Lehtiniemeä työn ohjauksesta ja neuvoista. Kolmantena haluaisin kiittää avovaimoani Anua hyvistä neuvoista ja tuesta opinnäytetyön kirjoittamisen aikana.

Risto Savolainen

29.4.2011

1 JOHDANTO

Tukiseinät ovat tärkeä osa nykyaikaista rakentamista. Monissa rakennuskohteissa täytyy kaivaa syviä kaivantoja, ja silloin joudutaan päättämään tehdäänkö kaivanto tuettuna vai luiskattuna. Yksinkertaisimmillaan kaivannon seinämät voidaan tehdä luiskaamalla. Tällöin kaivannon reunat luiskataan maaperän ominaisuuksista riippuvaan kaltevuuteen, jotta luiska pysyy luonnostaan koossa, eikä vaaraa luiskan murtumisesta ole. Aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista. Useissa paikoissa, kuten tiheästi rakennetuilla alueilla ei välttämättä ole tilan puutteen vuoksi mahdollista tehdä suuria luiskia. Syvien kaivantojen tapauksessa ei myöskään ole aina taloudellista tehdä suurta luiskaa. Mikäli luiskauksen maansiirtokustannukset ovat suuremmat kuin tukiseinien rakennuskustannukset, on edullisempaa tehdä kaivanto tuettuna. Lisäksi on myös tilanteita, joissa kaivannon seinämien on jostain muusta syystä välttämätöntä olla pystysuoria, tällöin tukiseinien rakentaminen on välttämätöntä.

Kaivinpaaluseinä on yksi raskaimpia tukiseinätyyppejä, ja se jää usein lopulliseksi rakenteeksi. Kaivinpaaluseinän paalutustöiden jälkeen kaivanto kaivetaan auki, kaivinpaaluseinät ankkuroidaan mikäli tarpeen, ja seinät pintakäsitellään tarvittaessa. Kelly-menetelmä on Suomessa verraten uusi kaivinpaalutusmenetelmä. Tässä raportissa käsiteltävän Kuopion Alatorihankkeen kaivinpaaluseinät ovat ensimmäiset Kelly-menetelmällä rakennetut kaivinpaaluseinät Suomessa.

Tämän työn tarkoituksena on laatia menetelmäkuvaus kaivinpaaluseinän rakentamisesta Kelly-menetelmällä. Lisäksi tarkoituksena on seinän tai seinän osan esiin kaivamisen jälkeen tehtävä seinän mahdollisten laadullisten tekijöiden dokumentointi siinä laajuudessa, kun se työmaan edistymisen puolesta on mahdollista. Laatuvirheiden syitä on tarkoitus analysoida lähdekirjallisuudesta löytyvien esimerkkien pohjalta. Tavoitteena työssä on tallentaa työmaalla saadut kokemukset menetelmän toimivuudesta ja myös edistää suomenkielisen, aihetta koskevan tiedon karttumista.

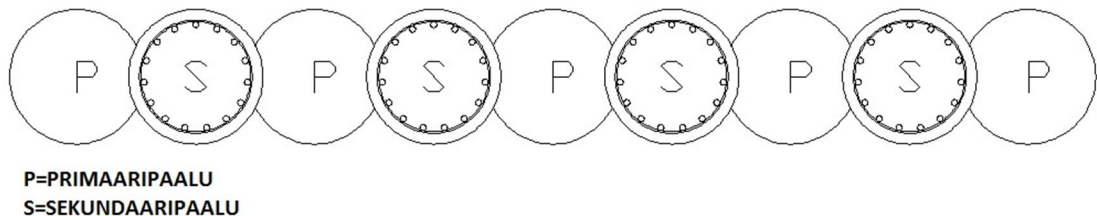
Työtä ohjaavaa tietoa edustavat tässä työssä käytännön kokemukset ja havainnot työmaalla sekä lähinnä ulkomainen aiheeseen liittyvä lähdekirjallisuus. Työhön kuuluva menetelmäkuvaus kirjoitetaan pääosin työmaalla saatuihin kokemuksiin sekä lähdekirjallisuudesta saatavaan tietoon pohjautuen. Kaivinpaaluseinän laatuvirheet, mikäli niitä löytyy, dokumentoidaan työmaalla valokuvaamalla ja niitä analysoidaan vertaamalla virheitä kirjallisuudesta löytyviin kuvauksiin erilaisista laatuvirheistä.

2 KAIVINPAALUSEINÄ

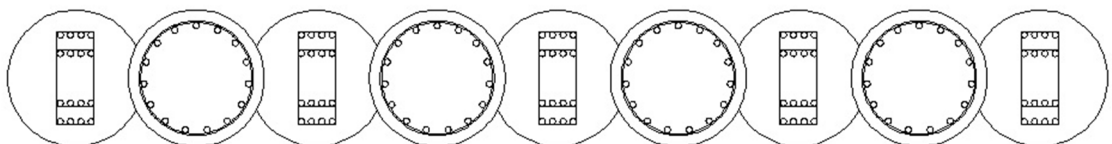
Suurpaalutusohje 2001 (SPO-2001, 24) määrittelee kaivinpaalun olevan paalu, joka tehdään maahan poraamalla tai kaivamalla betonivalua vastaava kaivanto joko työputken avulla tai ilman. Kaivinpaaluseinä on toisiaan leikkaavista tai leikkaamattomista kaivettavista paaluista rakennettu vesitiivis tuki- tai patoseinä, joka voi toimia myös lopullisena rakenteena tai sen osana. (SPO-2001, 96.)

2.1 Rakenne ja materiaalit

Toisiaan leikkaavista paaluista rakennettava kaivinpaaluseinä (secant pile wall) muodostuu tavallisesti ensin tehtävistä raudoittamattomista primaaripaaluista (primary pile), ja niiden väleihin tehtävistä, raudoittamattomia paaluja leikkaavista raudoitetuista eli sekundaaripaaluista (secondary pile). Eli siis edellä mainitun kaltaisessa seinässä joka toinen paalu on raudoitettu ja joka toinen raudoittamaton (kuva 1). Tällainen seinä on myös mahdollista rakentaa raudoittamalla kaikki paalut, mutta silloin ensin rakennettävien paalujen raudoitteiden on oltava riittävän pieniä, jotta ne eivät tule työputken tielle sekundaaripaaluja tehtäessä (SFS-1536 8.4.4). Tällaiset raudoitteet eivät usein ole poikkileikkaukseltaan pyöreitä, vaan esimerkiksi suorakaiteen muotoisia (kuva 2).



Kuva 1. Periaatekuva toisiaan leikkaavista paaluista muodostuvasta kaivinpaaluseinästä, jossa vuorottaiset paalut on raudoitettu.



Kuva 2. Periaatekuva toisiaan leikkaavista paaluista rakennetun kaivinpaaluseinän mahdollisesta raudoitusjärjestelystä, kun kaikki paalut on raudoitettu. (BAUER)

Myös kaivinpaaluseiniä, joissa paalut eivät leikkaa toisiaan, on mahdollista tehdä. Tässä menetelmässä kaikki paalut raudoitetaan ja ne tehdään joko toisiaan sivuaviksi (continuous pile wall) tai valitun etäisyyden päähän toisistaan (widely spaced pile wall). Paalujen valmistamisen jälkeen paalujen väli tai niiden välinen maa injektoidaan, suihkuinjektoidaan tai ruiskubetonoidaan (SPO-2001, 97).

Kaivinpaaluseinä on mahdollista perustaa kallioon tai maakerrokseen. Maakerrokseen perustettaessa primaaripaaluista ei välttämättä tarvitse tehdä yhtä pitkiä kuin sekundaaripaaluista, jos seinästä tehdään yli 25 m korkea. Tällaisessa tapauksessa raudoitetuista paaluista tehdään niin pitkiä, että riittävä passiivinen maanpaine saavutetaan seinän stabiiliteetin varmistamiseksi. Primaaripaalujen alapää voidaan tässä tapauksessa jättää 2 m lopullisen kaivutason alapuolelle. (BAUER, 7.)

Kaivinpaaluseinien paalujen halkaisijat vaihtelevat normaalisti 700 - 1800 mm:n välillä, mutta myös suuremmat paalun halkaisijat ovat tarvittaessa mahdollisia (BAUER, 7). Tässä työssä käsiteltävä seinätyyppi on kalliolle perustettu, toisiaan leikkaavista betonisista 880 mm halkaisijaltaan olevista kaivinpaaluista valmistettu seinä (secant pile wall), jossa vuorottaiset paalut ovat raudoitettuja. Seinä ei toimi kantavana rakenteena.

2.1.1 Betoni

Toisiaan leikkaavista paaluista rakennettavan kaivinpaaluseinän valmistamiseen tarvittavan betonin koostumuksen tulee olla sellainen, että primaaripaalun betoni saavuttaa riittävän nopeasti lujuuden ollakseen stabiili. Toisaalta paalu ei kuitenkaan saa tulla liian lujaksi liian nopeasti, koska silloin on vaarana sekundaaripaaluja tehtäessä, että työputki ei pystykään läpäisemään viereisiä primaaripaaluja ja ohjautuu sivuun tarkoitetusta sijainnistaan (SFS-1536/8.4.5). Lisäksi betonin tulee olla valettaessa riittävän notkeaa, jotta betoni täyttää työputkelta jäävän tyhjän tilan ja jotta raudoite ei haittaa betonin kulkumista paalukaivannon koko poikkileikkausalalle (Fleming ym. 2009, 274). Betonin on myös oltava itsetiivistyvää, eli sen on tarkoitus tiivistyä betonipatsaan aiheuttaman paineen vaikutuksesta. Alatorihankkeessa käytettiin erilaista betonia raudoitettuihin ja raudoittamattomiin paaluihin. Primaaripaaluihin käytettiin lujuudeltaan hieman heikompa betonia kuin sekundaaripaaluihin. Tällaisen käytännön ansiosta sekundaaripaaluja tehtäessä työputki leikkaa primaaripaaluja helpommin eikä työputki ajaudu sivuun ja aiheuta näin paaluille sijaintipoikkeamia.

Raudoittamattomien, eli primaaripaalujen ei tarvitse välttämättä olla betonista valmistettuja, vaan ne voidaan valmistaa myös itsekovettuvasta lietteestä (SFS-1536/8.4.6). Tällainen seinä ei kuitenkaan välttämättä sovellu pysyväksi rakenteeksi (Fleming ym. 2009, 220).

2.1.2 Raudoitteet

Kaivinpaalu on mahdollista raudoittaa monella eri tavalla. Raudoitteina voidaan käyttää esim. teräspalkkeja tai putkia, esivalmistettuja betonielementtejä, tai perinteisiä terästangoista rakennettuja raudoituskehikkoja.

3 KAIVINPAALUSEINÄN RAKENTAMINEN KELLY-MENETELMÄLLÄ

Tässä luvussa kuvaillaan vaiheittain kaivinpaaluseinän rakentaminen Kelly-paalutusmenetelmällä. Paalutustyön työvaiheiden lisäksi kuvaillaan lyhyesti myös seinän esiin kaivamisen yhteydessä suoritettavat ankkurointi, kalliotapitus sekä juuripalkin valaminen, jotka ovat oleellinen osa kaivinpaaluseinän rakentamista.

Luvun alussa esitellään lyhyesti työkohdetta Kuopion kauppatorilla, ja sen pohjaolosuhdeiden kuvaus. Tämän jälkeen tutustutaan paalutustyössä käytettyihin paalutuskoneisiin ja niiden työkaluihin. Näiden jälkeen kuvaillaan paalutustyön työvaiheet Kelly-menetelmää sovellettaessa. Näihin työvaiheisiin kuuluvat valmistelevat työt, työputken upottaminen maahan ja paalukaivannon tyhjäksi kaivu, paalukaivannon raudoittaminen mikäli kyseessä on raudoitettava paalu, paalun betonointi ja työputken poistaminen, sekä paalujen valmistusjärjestyksessä huomioon otettavat asiat. Luvun lopussa kuvailaan pintapuolisesti kaivinpaaluseinän ankkurointityön kulku, sekä seinän alapään kalliotapitus ja juuripalkin valaminen.

3.1 Työkohde

Tässä työssä käsiteltävä työkohde sijaitsee Kuopion kauppatorilla. Alatorihankkeessa on tarkoituksena laajentaa torinaluspysäköintiä rakentamalla torin alle kolme kerrosta pysäköintitilaa, sekä uudet ajorampit torin eteläpuolelle Haapaniemenkadulle ja Puijonkadulle. Torin pohjoispuolen alla on jo kaksi kerrosta pysäköintitilaa, jotka valmistuivat vuonna 1991. Nykyinen pysäköintihalli ulottuu torin puolivälistä torin pohjoiseen reunaan. Uuden osan on tarkoitus laajentaa pysäköintihallia etelään kauppahallin pohjoisseinään asti (Kuva 3).



Kuva 3. Torinaluspysäköinnin vanhan osan sekä uuden laajennuksen sijainti ajoramppeineen. Kuva: Arkkitehtitoimisto QVIM arkkitehdit Oy

Pohjatutkimukset käsiteltävää rakennusurakkaa varten on suorittanut Pöyry Environment Oy vuonna 2009. Tutkimuksessa suoritettiin paino-, heijari- ja porakonekairauksia, sekä otettiin maanäytteitä kahdesta pisteestä. Lisäksi tutkimuksessa on käytetty hyväksi Kuopion kaupungin mittausosaston aiemmin tekemiä paino- ja porakonekairausten tuloksia. Raportissa pohjasuhteita kuvataan rakennuspaikalla seuraavasti:

Kyseessä on rakennettu alue, joten rakennuspaikalla on täyttökerroksia. Havaitut maakerrokset koostuvat vaihtelevan tiivistä hiekka ja sorakerrostumista. Torin keski- ja itäosassa kerrostumat ovat tiiviimpiä ja kivisempiä, kun taas länsipuolella kerrostumat ovat löyhempiä ja vähemmän kivisiä.

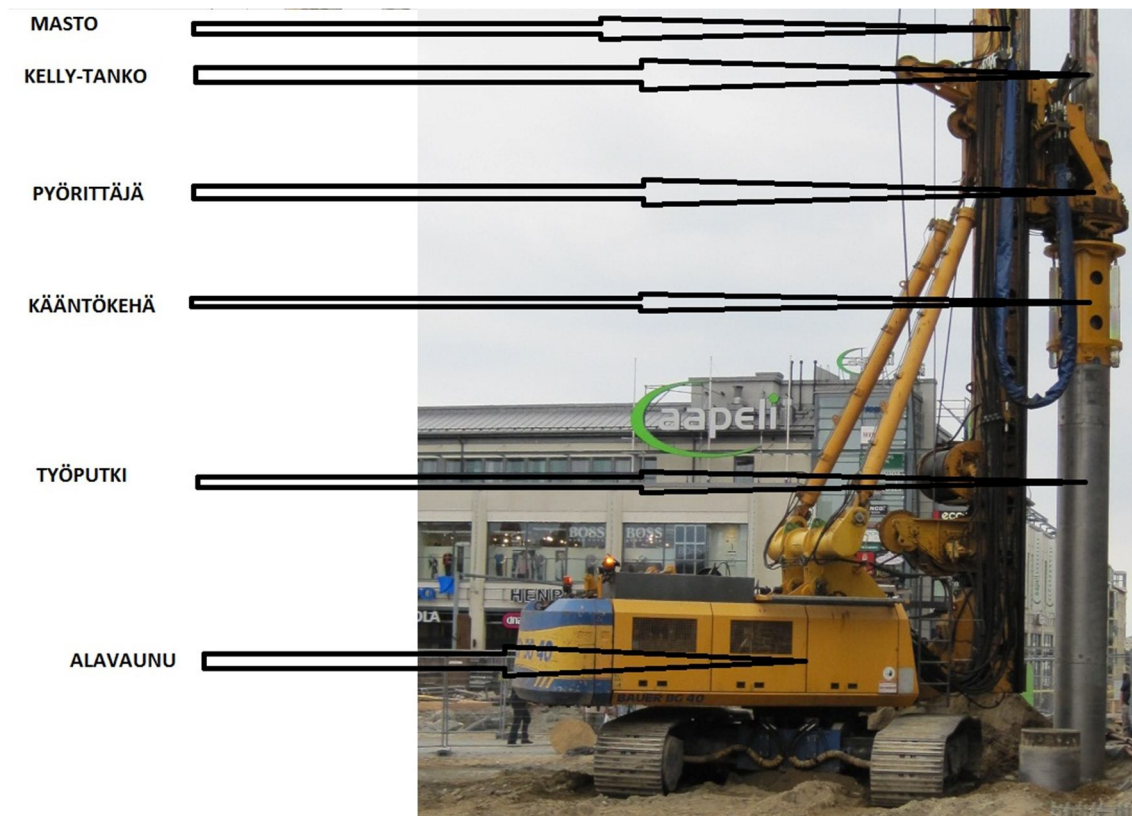
Kalliopinta alueella on tutkimuksissa vaihdellut 3,2 ja 17,0 metrin välillä. Kalliopinta on syvimmillään torin itäpuolella ja Puijonkadulle suunnitellun ajorampin alueella, vaihdellen tällä alueella 11,0 ja 17,0 metrin välillä nykyisestä maanpinnasta. Torin länsireunalla kalliopinta on havaittu 6,5 -11,4 metrin syvyydessä ja Haapaniemenkadulle suunnitellun

ajorampin alueella 3,2 -6,6 metrin syvyydessä maanpinnasta. Pohjavettä alueella ei ole havaittu, mutta vajovettä saattaa esiintyä kalliopainanteissa.

3.2 Paalutuskalusto

Paalutuskalustona Alatorihankeessa käytettiin kahta Bauer Maschinen GmbH:n valmistamaa paalutuskonetta tyypeiltään BG 36 ja BG 40. Koneet eroavat toisistaan vain koon ja tehon puolesta. Koneet omistaa Skanska EMV, joka on Skanska Infran tytäryhtiö Virossa. Työryhmään kuului kaksi apumiestä paalutuskonetta kohden sekä yksi traktori-kaivuri avustavana koneena.

Molemmat koneet oli varustettu teleskooppisella Kelly-tangolla ja hydraulisella pyörittäjällä. Kelly-menetelmän hyviin puoliin kuuluu, että samaa koneen varustelua voidaan käyttää sekä yksittäisten kaivinpaalujen tekemiseen että kaivinpaaluseinän rakentamiseen (BAUER, 3). Koneen pääosat ovat paalutuskoneen tela-alustainen alavaunu ja masto. Mastossa kiinni olevaa pyörittäjä liikkuu ylös ja alas mastoa pitkin vinssien avulla. Samoin pyörittäjän läpi kulkevaa Kelly-tankoa liikutetaan pystysuunnassa vinssin avulla. Koneissa on myös kolmas apuvinssi, jota voidaan käyttää esimerkiksi raudoitteen nostamiseen paalukaivantoon tai työkalujen käsittelyyn.



Kuva 4. Paalutuskoneen perusosat. Kuva: Risto Savolainen 2010

3.3 Paalutuskoneen työkalut

Kelly-menetelmässä paalukaivannon tyhjentämiseen ja esteiden poistamiseen käytetään työkaluina erilaisia auger-kairoja, porakauhoja, sydänkairoja, ja erilaisia erikoistyökaluja. Paalukaivannon tukemiseen ja käytetään työputkea ja joissain tapauksissa työputken lisäksi tai pelkästään kaivantoa tukevaa lietettä kuten bentoniittia.

3.3.1 Auger-kairat

Auger-kairat ovat hieman jääkairaa muistuttavia työkaluja, jotka kiinnitetään paalutuskoneen kelly-tankoon (Kuva 5). Augeria käytetään paalukaivannossa olevan maa-aineksen poistamiseen tai heikkojen esteiden rikkomiseen. Kairoja on saatavilla eripituisilla kierteen nousuilla ja terävaihtoehdoilla. Auger-kairat soveltuvat parhaiten kaivuun kuivissa olosuhteissa. Auger-kairan toimintaperiaate on seuraavanlainen. Auger-kairaa painetaan ja pyöritetään samanaikaisesti paalukaivannossa, jolloin se kairautuu maan sisään. Kun auger-kaira nostetaan pois paalukaivannosta, sen siipien väliin jäävä maa-aines nousee mukana ja se voidaan pudottaa koneen viereen kairaa edestakaisin pyörittelemällä.



Kuva 5. Auger-kaira kiinnitettynä paalutuskoneen kelly-tankoon. Kuva: Risto Savolainen 2010

3.3.2 Pora- puhdistuskauhat

Porakauhat (drilling bucket) ovat sylinterin muotoisia työkaluja, joissa on aukeava saranoitu pohjalevy (Kuva 6). Pyöritettäessä porakauhaa poraussuuntaan, pohjalevyssä oleva terä pakottaa maa-aineksen kauhan pohjassa olevasta aukosta kauhan sisään. Kauhan ollessa täysi, se suljetaan pyöryttämällä kauhaa poraussuunnan vastaiseen suuntaan. Näin maa-aines ei pääse putoamaan takaisin kaivantoon työkalua nostettaessa. Porakauha tyhjenetään avaamalla sen saranoitu pohjalevy, jolloin maa-aines saadaan pudotettua kauhan sisästä. Porakauha soveltuu vedenalaiseen kaivuun, sekä irtokivien poistamiseen kaivannosta. Tosin Alatorihankkeessa havaittiin että isommat kivet saatiin nostettua kaivannosta paremmin augerilla tai sydänkairalla kuin porakauhalla (Asikainen 1.4.2011).

Porakauhaa, jonka pohjalevyssä on terien sijasta tasainen huullos, sanotaan puhdistuskauhaksi (cleanout bucket). Puhdistuskauhaa käytetään paalukaivannon pohjan puhdistamiseen irtonaisesta maa-aineksesta. Mikäli kaivu lopetetaan maakerrokseen kallion sijasta, puhdistuskauhaa käytetään myös kaivannon pohjan tasaamiseen.



Kuva 6. Puhdistuskauha kiinnitettynä paalutuskoneen Kelly-tankoon. Kuva: Risto Savolainen 2010

3.3.3 Sydänkairat

Sydänkaira (core barrel) on sylinterin muotoinen, pohjastaan avoin työkalu, jonka alareuna on hammastettu. Sydänkairaa käytetään lohcareiden, betonin tai muiden vaikeasti läpäistävien esteiden läpäisyyn ja poistamiseen kaivannosta, sekä paalun pohjasyvennyksen tekemiseen kallioon, mikäli sellainen on tarpeen tehdä. Pohjasyvennystä tehtäessä sydänkairalla kairataan kallioon renkaan muotoinen ura. Uran sisäpuolelle jäävä kalliosydän rikotaan tämän jälkeen jollakin muulla työkalulla, kuten pudotettavalla meisselillä.

3.3.4 Työputki

Työputkea käytetään paalukaivannon tukemiseen ja maan leikkaamiseen. Usein työputki varustetaan alapäästään rengaskruunulla (Kuva 7). Kruunussa olevat hampaat voivat olla hitsattavia tai mekaanisilla liittimillä kiinnitettäviä. Rengaskruunu on erityisen tärkeä kaivinpaaluseinien rakentamisessa, sillä siinä työputken täytyy leikata viereisiä primaari-paaluja sekundaaripaalujen paalukaivantoja tehtäessä. Työputkia on eripituisia ja niitä liitetään toistensa jatkoksi sitä mukaa, kun paalukaivannon kaivu edistyy. Työputket liitetään toisiinsa mekaanisilla liittimillä (Kuva 8).

Suurpaalutusohjeen (SPO-2001, 92) mukaan työputkien on täytettävä mm. seuraavallaisia vaatimuksia:

- Työputkien rakenteen tulee sellainen, että ne pysyvät ehjinä maahan upotuksen ja maasta pois vetämisen aikana.
- Työputkien on oltava poikkileikkaukseltaan pyöreitä eikä niissä saa olla pituus- eikä poikkisuuntaisia vääristymiä.
- Työputkien liitosten on oltava riittävän tiukkoja, jotta ne välittävät tehokkaasti hierto- paino- ja vetovoimia työputken kärkeen saakka.
- Työputken kärkeen kiinnitettävän rengaskruunun ulkoneman, eli sen kuinka paljon työputken halkaisijaa suurempi rengaskruunun halkaisija on, tulee olla mahdollisimman pieni. Kuitenkin sen tulee olla riittävän suuri varmistamaan, että työputket saadaan ehjänä upotettua maahan ja sieltä pois.



Kuva 7. Työputken alapäässä oleva rengaskruunu, jossa on mekaanisilla liittimillä kiinnitettävät hampaat. Kuva: Risto Savolainen 2010



Kuva 8. Työputkien liitos. Kuva: Risto Savolainen 2010

3.3.5 Erikoistyökalut ja lisälaitteet

Erityistyökaluina Kelly-menetelmässä voidaan käyttää esimerkiksi työkaluja, joilla voidaan tehdä laajennus paalun pohjaan tai varteen kantavuuden parantamiseksi. Tällöin vaaditaan kuitenkin erittäin hyvin koossapysyvä maaperä, sillä tällaisessa tapauksessa ei ole mahdollista tukea kaivantoa työputken avulla. Tällaisia työkaluja ei voida käyttää kaivinpaaluseinän rakentamisessa. Lohkareiden rikkomiseen voidaan käyttää erilaisia pudotettavia meisseleitä tai ne voidaan läpäistä tarkoitukseen erityisesti suunnitelluilla poraustyökaluilla. Meislauksessa raskasta meisseliä pudotetaan toistuvasti paalu-kaivanossa olevan lohkareen päälle, jotta se rikkoutuisi, ja se saataisiin palasina nostettua ylös kaivannosta. Alatorihankkeessa käytetyillä BAUER BG 36 ja 40 mallisilla koneilla ei voi meislata, sillä niissä ei ole turvallisuussyistä meisselin vapaan pudottamisen mahdollistavaa vinssiä. Toisin sanoen meislaukseen tarvitaan erillinen työkone, jossa on edellä mainitun tyyppinen vinssi.

Olosuhteissa, joissa koneen pyörittäjän suorituskyky ei riitä työputken maahan upottamiseen ja/tai maasta poisvetämiseen, voidaan paalutuskoneeseen liittää ns. hiertopukki (casing oscillator) tuomaan tarvittavaa lisätehoa työhön. Hiertopukki on hydraulisesti toimiva laite, joka samanaikaisesti kiertää työputkea ja painaa sitä alaspäin. Alatorihankkeessa hiertopukkia ei käytetty.

3.4 Valmistelevat työt

Ensimmäinen tehtävä on mitata seinän sijainti maastoon takymetrillä, jotta tiedetään tarkalleen mihin seinä on tarkoitus rakentaa. Tämän jälkeen on kartoitettava kaikki työalueella ja sen läheisyydessä sijaitsevat käytössä olevat kaapelit, johdot ja muut rakenteet. Paalutuksen tielle jäävät käytössä olevat johdot ja muut rakenteet, joita ei voida purkaa, on mahdollisuuksien mukaan siirrettävä turvallisen etäisyyden päähän työkonen työskentelyalueelta. Paalutuskoneen työalueella sijaitsevat kaivot on syytä madaltaa ja/tai peittää koneen alustaksi soveltuvalla maa-aineksella, sillä raskas työkone vaurioittaa niitä erittäin helposti liikkuessaan työskentelyalueella. Myös muut vastaavassa vaarassa olevat rakenteet on syytä poistaa tai peittää. Työkoneen alustan on oltava tasainen ja hyvin kantava, sillä kalusto on erittäin raskasta. Alustaksi soveltuu hyvin esimerkiksi karkea murske tai jokin muu tiivis ja hyvin kantava materiaali.

Varoittavana esimerkkinä putkien kartoittamatta jättämisestä Skanska EMV:lle on sattunut Virossa seuraavanlainen tapaus: Tulevan kaivinpaaluseinälinjan kohdalle oli jäänyt salaojaputki, jonka ei tiedetty olevan sillä kohdalla. Paalutustyön yhteydessä salaojaputki oli rikkoutunut työputken painaessa sen poikki. Asiaa ei huomattu ja paalutus oli viety päätökseen normaalisti. Kun kaivinpaaluseinä kaivettiin esiin, huomattiin seinässä salaojaputken kohdalla reikä. Putkessa oli virrannut vettä niin paljon, että sen kohdalla olevaa paalua betonoitaessa vesi oli huuhtonut sementin betonista ja näin jättänyt paaluun reiän, josta vesi pääsi virtaamaan paalun läpi.

3.5 Ohjainkaulus

Ohjainkaulus on tarpeellinen, jotta yksittäisten paalujen sijainti ja seinän suunta saadaan vastaamaan suunnitelmia (SPO-2001, 97). Ohjainkaulus rakentaminen voidaan aloittaa, kun paalutustyön tiellä mahdollisesti olleet esteet on poistettu. Kaulus voi olla teräksinen tai betonista valettu (SFS-1536/8.4.1). Tässä työssä käsitellään vain betonisen ohjainkaulus rakentaminen.

Työ aloitetaan kaivamalla tulevan kaivinpaaluseinän kohdalle seinän suuntainen oja, johon ohjainkaulus valamiseen tarvittava muotti saadaan aseteltua. Ojan leveydessä on otettava huomioon myös työtila. Ojan koko riippuu valmistettavien paalujen halkaisijasta, ja siten ohjainkaulus koosta. Alatorihankkeessa ojan syvyys oli yleensä n. 0,5 - 1,0 m ja leveys n. 1,5 -2,0 m. Ohjainkaulus valetaan yleensä suunnilleen siihen korkoon, mihin paalujen yläpäiden on tarkoitus tulla. Ojan pohja on tehtävä tasaiseksi ja tiivistettävä tärylevyllä. Maaperän niin vaatiessa ohjainkauluselle voidaan ojan pohjalle valaa tasainen alusta betonista. Kun alusta on valmis, seinän sijainti mitataan uudelleen, jotta ohjainkaulus etukäteen valmistettu valumuotti saadaan tarkalleen oikeaan paikkaan.

Alatorihankkeessa käytetyt muotit valmistettiin vanerilevystä ja puutavarasta (Kuva 9). Kaksiosaisen muotin puolikkaat olivat kiinni toisissaan ruuveilla, joten muottia purkaessa ne oli helppo irrottaa ja samoja muotteja voitiin käyttää koko paalutustyön ajan. Muotin ollessa oikeassa korossa ja asemassa, voidaan raudotteet asettaa muotin molemmille puolille. Tämän jälkeen ohjainkaulus on valmis valettavaksi. Ennen valua on kuitenkin suositeltavaa tarvittaessa kaventaa ylileveää ojaa maa-aineksilla, jotta betonia ei kulu turhaan. Betonin kovettuttua voidaan muotti poistaa ja itse paalutustyö voi alkaa.



Kuva 9. Etualalla näkyy valmista ohjainkaulusta. Taka-alalla on myöhemmin valettua ohjainkaulusta, josta muottia ei ole vielä irrotettu. Kuva: Risto Savolainen 2010

3.6 Paalukaivannon kaivu ja työputken maahan upottaminen

Paalukaivanto Kelly-menetelmällä voidaan tukea työputkella, tai pohjaolosuhteista riippuen kaivantoa tukevalla lietteellä, kuten bentoniitilla. Lietteellä tukemista ei tässä työssä käsitellä yksityiskohtaisesti, sillä menetelmää ei käytetty Kuopion Alatorihankkeessa, eikä menetelmää ole Suomessa juurikaan käytetty siihen pääasiassa sopimattomien pohjaolosuhteiden vuoksi (SPO-2001, 92). Ulkomailla on rakennettu kaivnupaaluseiniä myös niin, että primaaripaalut tehdään ilman työputkea ja vasta sekundaaripaaluja tehtäessä käytetään työputkea, jota tarvitaan tässä vaiheessa leikkaamaan primaaripaaluja (Fleming ym. 2009, 219). Alatorityömaalla paalukaivantojen tukemiseen käytettiin työputkea.

Paalukaivannon kaivaminen aloitetaan kiinnittämällä paalutuskoneen pyörittäjään työputki, jonka alapäähän on kiinnitetty rengaskruunu. Tämän jälkeen kone ajetaan ohjainkauluksen vierelle siten, että työputki saadaan osumaan tarkalleen haluttuun ohjainkauluksessa olevaan aukkoon. Kuljettajalla on hyvä olla ohjainkauluksen reuna näkyvis-

sä, etteivät koneen telat osu kaulukseen ja näin vaurioita tai siirrä kaulusta. Kun työputki on halutulla kohdalla, sitä aletaan painaa maahan, samanaikaisesti pyörittäen. Kuljettaja jatkaa tätä, kunnes työputki ei enää uppoa maahan kunnolla. Tässä vaiheessa koneenkuljettaja nostaa pyörittäjän kääntökehän irti työputkesta, ja laskee kelly-tankoon kiinnitetyn auger-kairan, tai muun työkalun, paalukaivantoon.

Kelly-tankoa pyöritetään nyt koneen pyörittäjän avulla ja painetaan samanaikaisesti alaspäin, jolloin työkalu (tavallisesti auger-kaira tai porakauha) uppoaa työputken sisästä olevaan maahan. Työkalun upottua kokonaan maan sisään, se nostetaan pois työputken sisästä maan saamiseksi pois kaivannosta. Tällöin kone kääntyy sivulle, ja maa-aines pudotetaan työkalusta pyörittelemällä sitä edestakaisin ilmassa (Kuva 10). Työputkea tyhjennetään maa-aineksesta, mutta ei työputken kärjen tasoon asti. Työputken kärjen tulee kaivuvaiheessa olla aina kaivutasoa syvemmillä, ettei työputken ulkopuoliseen maaperään muodostu onkaloita kairauksen vaikutuksesta (The Institution of Civil Engineers 2003). Paalukaivannosta tulevat maamassat kuljettaa pois tieltä paalutus-konetta avustava työkone. Alatorihankkeessa tästä tehtävästä huolehti traktorikaivuri. Kun työputkea on näkyvissä ohjainkauluksen yläpinnan yläpuolella noin metri, nostetaan sen jatkoksi toinen putki. Putket liitetään toisiinsa ulkokierteisillä pulteilla, joiden määrä riippuu putken halkaisijasta. Se, minkä verran maassa olevaa työputkea tarvitsee olla näkyvissä, määräytyy putkien liittämiseen tarvittavan työtilan mukaan. Tämän jälkeen työputkea voidaan taas upottaa syvemmälle maahan. Näitä työvaiheita toistetaan, kunnes saavutetaan kalliopinta, kantava maakerros tai haluttu syvyys, Alatorityömaan tapauksessa kalliopinta.



Kuva 10. Maa-aineksen pudottaminen auger-kairan siiviltä kairaa pyörittelemällä. Kuva: Risto Savolainen 2010

3.7 Paalukaivannon pohjan puhdistaminen

Työputken saavutettua kalliopinnan, ja kun työputki on tyhjennetty enimmästä maa-aineksesta, on vuorossa kaivannon pohjan puhdistus (Kuva 11). Tavoitteena puhdistuksessa on saada paalukaivannon pohjalla oleva irtonainen maa-aines poistettua. Näin varmistutaan siitä, että paalu tulee valetuksi suoraan kallion päälle, eikä paalun ja kallion väliin jää hienoainesta. Pohjalle jäävä hienoaines voi heikentää paalun kantokykyä ja aiheuttaa painumia (Caltrans 2008, 6 - 15). Kaivinpaaluseinän tapauksessa edellä mainittu ei ole niin vaarallista mikäli seinä ei toimi myös kantavana rakenteena.

Pohjan puhdistaminen tehdään tavallisesti erityistä puhdistuskauhaa käyttäen, joka on mainittu kappaleessa 3.3.2. Pohjan puhdistaminen on syytä tehdä vasta juuri ennen betonoinnin aloittamista. Tämä siitä syystä, ettei kaivannon pohjalle kerääntynyt ennen betonoinnin alkamista lisää maa-ainesta esimerkiksi paalukaivannossa mahdollisesti virtaavan veden kuljettamana. Alatoriorakassa kaivannon pohja puhdistettiin tavallisesti siinä vaiheessa, kun betoniauto oli saapunut työmaalle.



Kuva 11. Keskeneräinen työputkella tuettu paalukaivanto. Kuva: Risto Savolainen 2010

3.8 Raudoitteen asentaminen paalukaivantoon

Jos valettava paalu on tarkoitus raudoittaa, on raudoite asetettava paalukaivantoon ennen betonointia. Raudoittamattoman paalun tapauksessa tämä vaihe jätetään pois kokonaisuudessaan. Oikean pituisen raudoitteen valitsemiseksi on paalukaivannon syvyys mitattava. Tämä voidaan tehdä mittanauhalla mittaamalla tai paalutuskoneen syvyysmittarilla.

Raudoitteita on hyvä säilyttää lähellä paalutustyötä, koska mahdollisesti pitkienkin ”raudoitushäkkien” kuljettaminen ahtaalla työmaalla on hidasta, vaivalloista ja vaarallista. Alatoriurakassa raudoitteita kuljetti paalutuspaikalle paalutuskonetta avustava monitoimikauhalla varustettu traktorikaivuri. Kun raudoite on paalutuskoneen vieressä, se kiinnitetään paalutuskoneen apuvinssiin, jonka avulla se saadaan nostettua ilmaan ja laskettua paalukaivantoon (Kuva 12 ja Kuva 13). Nostossa käytettävien lenkkien ja vaijereiden on oltava ehyitä ja hyväkuntoisia, jotta raudoitteen putoamisesta aiheutuva tapaturmariski voidaan minimoida. Jos raudoite ei ole poikkileikkaukseltaan pyöreä, on tärkeää huolehtia, että raudoite tulee kaivantoon oikeaan asentoon, ettei paalun rakenteellinen

kestävyys vaarannu (BAUER, 13). Kun raudoite on saatu laskettua kaivantoon, voidaan betonointi ja työputken pois nostaminen aloittaa.

Raudoitteet Alatoriurakkaa varten valmistettiin työmaalla. Pääasiassa raudoitteina käytettiin hitsattuja poikkileikkaukseltaan pyöreitä harjateräsraudoitteita. Yksittäisissä erikoistapauksissa raudoitteina käytettiin I-palkkeja. Koska raudoitteita on valmistettava jatkuvasti etukäteen puskuriksi, jotta paalutustyö ei keskeydy raudoitteiden puutteeseen, on valmistettavien raudoitteiden pituus voitava arvioida etukäteen. Tämä arvioitiin kairinpaaluseinälinjoilla tehdyistä porakonekairauksista saatujen tietojen perusteella.

Kairausten antamien tietojen perusteella laaditun poikkileikkauksen avulla voitiin ennakoida tulevien paalujen pituudet riittävällä tarkkuudella. Raudoitteiden pituudet päätettiin valitsemalla jokin kairaustulosten lähellä oleva ”tasaluku”, yleensä ylöspäin pyöristäen, jonka mukaan raudoitteita valmistettiin etukäteen. Myös huomattavasti kairaustulosten antamaa tietoa pidempiä raudoitteita oli syytä valmistaa varastoon, sillä jopa vierekkäisten paalujen pituus saattoi vaihdella yli metrillä. Kairauksia oli tehty seinälinjalla n. 5 metrin välein, eikä jokaisen paalun kohdalla, joten paljonkin epätasaisen kalliopinnan vuoksi paalujen pituuksissa saattoi olla ennalta arvaamattomia heittoja molempiin suuntiin (Kuva 14).



Kuva 12. Raudoitetta ollaan nostamassa paalutuskoneen apuvinssillä.

Kuva: Risto Savolainen 2010



Kuva 13. Raudoitteen laskeminen paalukaivantoon Kuva: Risto Savolainen 2010



Kuva 14. Epätasaista kalliopintaa Kuopion Alatorihankkeessa.

Kuva: Risto Savolainen 2010

3.9 Betonointi ja työputken poistaminen kaivannosta

Betonointi tapahtuu laskemalla betoni paalukaivantoon valusuppilolla varustetun valuputken avulla (Kuva 16). Tällä estetään se, että betoni ei pääse erottumaan osumalla työputken seinämiin tai kaivannossa olevaan raudoitteeseen (SFS-1536/8.3.2.4). Betonointi suoritetaan eritavalla riippuen siitä, onko paalukaivanto kuiva vai onko kaivannossa vettä. Kuivissa olosuhteissa valuputken ei tarvitse välttämättä ulottua kaivannon pohjalle saakka, vaan betonin suurin sallittu pudotuskorkeus voidaan ottaa huomioon. Vedenalaisessa- eli ns. contractor-valussa valuputki on sen sijaan välttämättömästi ulottaa kaivannon pohjalle asti (SFS-1536/8.3.3.9). Seuraavassa lyhyt kuvaus molemmista betonointimenetelmistä:

Kuivissa olosuhteissa valaminen tapahtuu laskemalla valuputki, jonka yläpäähän on kiinnitetty valusuppilo, paalukaivantoon (Kuva 15). Valuputki on hyvä laskea mahdollisimman alas kaivantoon, mutta aivan pohjalla sen ei kuivissa olosuhteissa tarvitse olla. Betonille annettua suurinta sallittua pudotuskorkeutta ei kuitenkaan saa ylittää, ettei betoni pääse lajittumaan. Kun valuputki on paikoillaan kaivannossa, voidaan suppiloon alkaa kaataa betonia suoraan betoniauton rännistä (Kuva 17). Betonointia ei tarvitse tehdä vedenalaisena, jos kaivantoon tulee vettä erittäin hitaasti ja jos sitä on kaivannon pohjalla vain muutamia senttimetrejä (Tomlinson 1983, 34 - 14). Tällöin paalukaivannon pohjalle voidaan pudottaa betonia tulpaksi, jonka paine estää veden virtaamisen kaivantoon. Tällainen tilanne tuli vastaan Alatoriurakan paalutustöissä. Tällaisessa tilanteessa paalukaivantoon pudotettiin tulpaksi betonia n. 1m, jonka jälkeen betonia sekoitettiin auger-kairalla. Tämän jälkeen valamista jatkettiin normaalisti.

Vedenalaisessa valussa valuputki on ulotettava kaivannon pohjalle asti (SFS-1536/8.3.3.9). Valun edetessä valuputken alapään on jatkuvasti pysyttävä betonipinnan alapuolella. Näin kaivannossa oleva vesi ja lika saadaan nousemaan betonipatsaan yläpuolella pois kaivannosta, ja epäpuhtauksien sekoittuminen betoniin voidaan minimoida. Tällä vältetään myös sementin huuhtoutuminen kaivannossa virtaavan veden mukana, sekä betonin erottuminen. Vedenalaisessa betonoinnissa tulee paalu valaa niin pitkälle paalun katkaisutason yläpuolelle, että kaikki huonolaatuinen veteen ja maainekseen sekoittunut betoni on katkaisutason yläpuolella (SPO-2001, 109).



Kuva 15. Valuputken laskeminen paalukaivantoon betonointia varten. Kuva: Risto Savolainen 2010



Kuva 16. Valusuppilon kiinnittäminen valuputken yläpäähän. Kuva: Risto Savolainen 2010



Kuva 17. Betonin laskeminen paalukaivantoon. Kuva: Risto Savolainen 2010

Työputkea voidaan alkaa nostaa pois kaivannosta, kun betonipinta paalussa on noussut korkeuteen, jossa betonin aiheuttama ylipaine estää maan ja veden tunkeutumisen työputken alapään kautta putkesta vapautuvaan kaivantoon. Riittävä betonimäärä kaivannossa estää myös raudoitteen nousemisen irti kaivannon pohjalta työputken mukana. (SPO-2001, 113.)

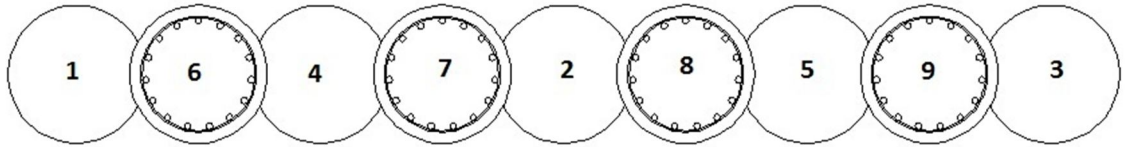
Paalutuskoneessa on mekanismi, jolla koneen kääntökehä saadaan tarttumaan työputkeen kiinni, sen pois vetämiseksi maasta. Jos paalussa on raudoite, ensimmäisessä nostossa työputkea nostetaan aina vain hiukan, jotta nähdään, että raudoite ei lähde nousemaan työputken mukana. Betonipinnan ollessa riittävän korkealla, työputkea nostetaan uudelleen, tällä kertaa niin paljon että kokonainen työputken osa tulee näkyville. Näkyvä osa irrotetaan, ja valua jatketaan. Betonipinta laskee joka kerta, kun työputkea nostetaan, koska työputken viemä tila vapautuu ja betoni valtaa tämän tilan. Työputken poistamisessa on pidettävä huolta että työputken kärki on aina riittävän paljon betonipinnan alapuolella. Mikäli betonipinnan ja työputken kärjen välinen ero ei ole tiedossa, on siitä varmistuttava mittaamalla. Työtä jatketaan näin, kunnes työputki on kokonaisuudessaan nostettu pois kaivannosta. Näin paalu on saatu valmiiksi.

3.10 Paalujen valmistusjärjestys

Paalujen oikea valmistusjärjestys on erittäin tärkeää onnistuneen lopputuloksen saavuttamiseksi. Ensin on valmistettava raudoittamattomia paaluja, jotka sitten saavat sitoutua saavuttaakseen riittävän stabiliteetin. Kun betoni niissä on tarpeeksi kiinteää, voidaan niiden väleihin tehdä raudoitetut paalut. Betoni ei kuitenkaan saisi olla saavuttanut liian suurta lujuutta, sillä tämä voi aiheuttaa työputken ohjautumista sivuun tarkoitetusta sijainnista ja näin aiheuttaa paalujen "harittamista" ja/tai halkeilua.

Käytännössä tämä tarkoittaa, että tulevalle seinälinjalle tehdään pelkkiä raudoittamattomia paaluja, kunnes niistä ensimmäiset ovat saavuttaneet riittävän stabiliteetin. Tämä aika riippuu betonin ominaisuuksista ja on siten arvioitava tapauskohtaisesti. Raudoittamattomia paaluja voi olla perusteltua tehdä ensin harvalla jaolla ja tihentää paaluväliä, kun läheisyydessä olevien paalujen stabiliteetti sen sallii. Esimerkiksi voidaan ensin tehdä joka toinen raudoittamaton paalu jollakin kohtaa seinälinjaa. Näiden valmistuttua tehdään edellä mainittujen paalujen väliin tulevat raudoittamattomat paalut. Kun nämäkin ovat valmiita, on tällä kohdalla jäljellä enää raudoitettujen paalujen tekeminen raudoittamattomien paalujen väliin (Kuva 18). Alatorihankkeessa paalujen annettiin tavallisesti

asettua noin päivän ajan, ennen kuin niiden viereen voitiin tehdä toista paalua (Asikainen 2010 1.4 2011).



Kuva 18. Periaatekuva paalujen valmistusjärjestyksestä kaivinpaaluseinää rakennettaessa. Paalujen keskellä olevat numerot tarkoittavat valmistusjärjestystä.

3.11 Ankkurointi

Tukiseinät vaativat usein ankkuroinnin vastaanottamaan maanpaineen aiheuttaman vaakasuuntaisen voiman. Maanpaine on mahdollista ottaa vastaan välipohjarakenteilla tai ulkopuolisilla ankkureilla (SPO-2001, 97). Kaivinpaaluseinä on mahdollista tukea myös vinotuilla kaivannon puolelta (Fleming ym. 2009, 220). Ankkurointi tehdään joko yhdelle tai useammalle tasolle ja vaihtelevalla tiheydellä, riippuen kaivinpaaluseinän korkeudesta, ja siihen kohdistuvan maanpaineen suuruudesta. Ulkopuolinen ankkurointi tehdään yleensä porapaalutukseen ja ankkurointiin soveltuvalla poravaunulla (Kuva 19).



Kuva 19. Ankkurointiin käytettävä poravaunu ankkurointityössä. Kuva: Risto Savolainen 2011

Ankkurointia varten täytyy tukiseinää kaivaa esiin piirustuksissa merkittyyn ankkurointitasoon asti. Kaivua on ulotettava tukiseinästä poispäin niin paljon, että poravaunulla on riittävästi työtilaa. Tämän jälkeen ankkureiden tarkat paikat merkitään paaluihin. On huomattava, että vain raudoittamattomien eli primaaripaalujen kohdalle porataan ankkureita. Tästä syystä itse paaluja tehdessä on oltava tarkkana, että primaari- ja sekundaaripaalut tulevat suunnitelmissa esitetyille paikoille. Ankkurointisuunnitelmaa ei ole voida noudattaa, jos betonipaalun kohdalle onkin vahingossa valettu raudoitettu paalu.

Kun ankkurien paikat on merkitty, voidaan ankkurien poraus aloittaa. Poravaunu ajetaan ankkuroitavan paalun eteen, ja sen puomi kallistetaan suunnitelmissa esitettyyn ankkurin kaltevuuteen. Tämän jälkeen suojaputki porataan kallioon tai määräsyvyYTEEN, riippuen onko kyseessä maa- vai kallioankkuri (Kuva 21). Ankkuroitaessa tiheästi rakennetuilla alueilla, on erittäin tärkeää, että tukiseiniä takana mahdollisesti olevien maanalaisten tilojen tai rakenteiden sijainti on kartoitettu huolellisesti. Näin ankkurit voidaan suunnitteluvaiheessa suunnata ohittamaan nämä rakenteet, jolloin vältetään ikävät yllätykset rakentamisen aikana.

Kun määräsyyvyys kalliassa on saavutettu, voidaan poraustangot nostaa pois maaputkesta ja vetopunokset työntää suoja-putkeen ja injektoida. Jos ankkuri on pysyvä, suoja-putki jätetään maahan korroosiosuojaksi ankkurille. Väliaikaisen ankkurin tapauksessa suoja-putki vedetään pois injektoinnin yhteydessä. Injektointilaastin kuivuttua ankkuri on valmis koevedettäväksi. Tätä ennen ankkurointitasoon on kuitenkin valettava betoninen palkki, jota vasten ankkureiden vastinkappaleet voidaan asettaa. Ankkurin vaijerit koevedetään ja jos ankkuri kestää koevetämisen, se on valmis jännitettäväksi. Tällöin ankkurin vaijerit vedetään haluttuun esijännitykseen ja jännitys lukitaan vastinkappaleeseen (Kuva 20). Lopuksi vaijereista katkaistaan vastinkappaleen yläpuolelta ylimääräinen pituus pois ja ankkurin yläpää valetaan betonin sisään (Kuva 22). Ankkureita ei aina asenneta ja jännitetä heti niiden injektoinnin jälkeen, vaan ne porataan usein ensin koko seinälinjalle ja ne jännitetään viimeistään ennen kaivun ulottamista ankkurointitason alapuolelle.



Kuva 20. Ankkuri jossa vastinkappale on paikallaan ankkurointipalkissa ja ankkuri on jännitetty ja jännitys lukittu vastinkappaleeseen. Vaijereiden ylijääviä osia ei ole vielä katkaistu eikä ankkurin yläpäätä ole koteloitu betonivaluun. Kuva: Risto Savolainen 2011

Kaivu voidaan ulottaa syvemmälle ankkurointitason ankkureiden ollessa valmiita, joko syvyyteen josta kalliotapit voidaan porata, tai seuraavaan ankkurointitasoon saakka, jolloin edellä kuvatut työvaiheet toistetaan.



Kuva 21. Ankkureita varten porattuja suojaputkia seinäosuuden ensimmäisellä ankkurointitasolla. Vaijeripunoksia ei ole vielä asennettu. Kuva: Risto Savolainen 2010



Kuva 22. Toisen ankkurointitason maaputkien porausta. Yläpuolella edellisen kuvan ensimmäinen ankkurointitaso valmiina. Ankkurilinjalle on valettu betonipalkki ja varsinainen ankkurien ympärille on valettu betonikuori. Kuva: Risto Savolainen 2011

3.12 Kalliotapitus

Mikäli kaivinpaaluseinä ulottuu kallioon saakka ja myös lopullinen kaivu ulottuu kalliopintaan asti, on seinän alapään siirtyminen estettävä kalliotapeilla. Kalliotappi on materiaailtaan yleensä umpinainen terästanko. Kalliotapit voidaan tehdä kaivinpaaluseinän osalta kahdella tavalla.

Ensimmäinen vaihtoehto on asentaa sekundaaripaalujen raudoitteisiin kalliotapitusta varten putkia, joiden kautta kalliotapit voidaan porata ja asentaa paalun sisäpuolelle. Tällöin tapitus suoritetaan ennen kaivinpaaluseinän esiin kaivamista, jotta poravaunulla on työalusta.

Toinen vaihtoehto on asentaa tapit paalujen eteen. Tämä täytyy tehdä ennen kuin kaivu ulottuu paalujen alapäähän asti, jolloin maanpaine vielä estää paaluseinän alapään liikumisen. Maakerroksen ei kuitenkaan kannata olla liian paksu, koska silloin tapit on vaikeampi saada osumaan aivan paalun juureen. Tässä toteutustavassa poravaunu ajetaan niin lähelle kaivinpaaluseinää kuin se työn toteuttamisen kannalta on mahdollista ja porataan siitä niin pystysuoraan kuin voidaan, kohti paalun oletettua alareunaa.

Kun reikä on porattu riittävän syväälle kallioon, asennetaan kalliotappi porausputken kautta reikään ja injektoidaan. Tällä tavalla tehdyssä kalliotapituksessa poravaunun käyttäjän on oltava huolellinen, koska arviointivirheen seurauksena kalliotapit voivat olla tulla liian kauas kaivinpaaluseinän alareunasta. Kalliotappien asennuksen jälkeen paaluseinä voidaan kaivaa kokonaan esiin.

3.13 Juuripalkki

Kun kaivinpaaluseinä on kaivettu kallioon asti esiin, voidaan seinän alapään liikkumista ehkäistä kalliotappien lisäksi betonista valetulla ja raudoitettulla juuripalkilla. Juuripalkki valetaan kaivinpaaluseinän alapäähän kalliota ja paaluseinää vasten. Tätä varten kallio-pinta tulee pestä paaluseinän viereltä juuripalkin vaatiman tilan alueelta. Palkkia varten rakennetaan paaluseinän viereen muotti, jonne asetetaan palkin raudotteet. Tämän jälkeen juuripalkki voidaan valaa. Kaivinpaaluseinän viereen asennetut kalliotapit jäävät juuripalkin sisään.

4 KAIVINPAALUSEINÄN LAATUONGELMAT

Kaivinpaaluseinässä voi ilmetä monenlaisia laadullisia ongelmia. Nämä voivat johtua esim. tahallista tai tahattomasta huolimattomuudesta, väärin valituista tai valmistetuista materiaaleista, tai puutteellisista maaperätiedoista työkohteessa.

Paaluissa olevat laatuongelmat voivat pahimmillaan vaikuttaa kaivinpaaluseinän kykyyn ottaa vastaan siihen kohdistuvia kuormia, tai esimerkiksi aiheuttaa seinän vuotamista. Itse kaivinpaaluseinän laaturvirheistä ei kirjallisuudesta löydy juurikaan tietoa paalujen sijaintipoikkeamia, seinän vuotamista ja seinän liikkumista lukuun ottamatta. Sen sijaan yksittäisissä kaivinpaaluissa olevista laatuongelmista on saatavilla kohtalaisen paljon tietoa. Koska kaivinpaaluseinän tapauksessa yksittäisten kaivinpaalujen valmistaminen on käytännössä hyvin samanlaista, voidaan olettaa että samanlaisia laatuongelmia voi löytyä myös kaivinpaaluseinän yksittäisistä paaluista. Näiden laatuongelmien vaikutus rakenteen toimivuuteen voi kuitenkin olla erilainen johtuen siitä, että kaivinpaaluseinä ottaa vastaan kuormia sivusuunnassa, mutta ei kaikissa tapauksissa ole suuren pystysuuntaisen kuormituksen alaisena. Kaivinpaaluseinässä olevia laatuongelmia on jälkikäteen huomattavasti helpompi tarkastella ja myös korjata verrattuna yksittäisiin perustuksina toimiviin paaluihin siitä syystä, että kaivinpaaluseinä kaivetaan esiin. Mahdollisia laaturvirheitä on tällöin mahdollista tarkastella silmämääräisesti.

Tässä osiossa ei käsitellä laatuongelmia, jotka johtuvat sellaisten tekniikoiden hyödyntämisestä, joita ei voida soveltaa toisiaan leikkaavista paaluista muodostuvan kaivinpaaluseinän rakentamiseen. Esimerkkinä paalun pohjan laajennuksen aiheuttamat ongelmat. Missä tahansa työvaiheessa tehdyt virheet tai olosuhteiden väärinarviointi voi johtaa puutteelliseen lopputulokseen.

4.1 Ongelmat kaivun aikana

Paalukaivantoa kaivaessa voidaan tehdä monenlaisia virheitä jotka voivat vaikuttaa paalun lopputulokseen. Yleensä ongelmia aiheutuu vedenalaisessa kaivussa ja häiriintymisherkissä maissa.

4.1.1 Onkalot

Yksi mahdollinen ongelmia aiheuttava ilmiö on onkaloiden muodostuminen paalukaivantoa ympäröivään maahan. Niitä voi muodostua monilla erilaisilla tavoilla ja niiden vaikutus lopputulokseen voi vaihdella paljon.

Häiriintymisherkissä maissa on tärkeää, että työputken kärki on jatkuvasti kaivupinnan alapuolella (SFS 1536/8.1.3.8). Jos kaivu ulottuu työputken kärjen alapuolelle, voi paalukaivantoa ympäröivä maa-aines romahtaa kaivantoon, kuivissakin olosuhteissa, jolloin tälle kohdalle muodostuu paalukaivannon ulkopuolinen onkalo. Onkalo voi olla kuiva tai vedellä täyttynyt. Kaivettaessa pohjavesipinnan alapuolella myös paalukaivantoon virtaava vesi voi kuljettaa mukanaan maa-ainesta kaivannon ulkopuolelta paalukaivantoon, muodostaen samantyyppisen onkalon työputken ulkopuolelle. Näillä tavoin muodostuneet onkalot voivat aiheuttaa ongelmia paalun betonoinnin aikana (Fleming ym. 2009, 263). Onkalon syntymisen voi kaivuvaiheen aikana joissain tapauksissa havaita paalukaivantoa ympäröivän maan painumisena (Ka-Sing 2004, 10).

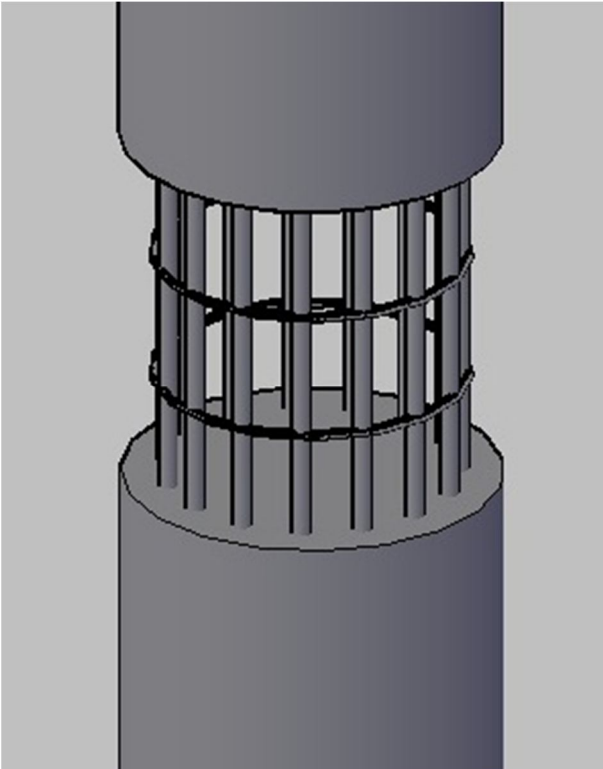
Kun työputkea nostetaan kaivannosta betonoinnin yhteydessä, betoni leviää myös paalukaivannon ulkopuolisiin onkaloihin, mikäli näitä on päässyt syntymään. Tämän voi havaita betonipinnan odottamattomana putoamisena paalukaivannossa. Myös betonimenekin suhde paalukaivannon teoreettiseen tilavuuteen voi paljastaa, että jotain on vialla. Jos nimittäin betonia kuluu huomattavia määriä enemmän kuin paalun teoreettinen tilavuus antaa olettaa, betonia täytyy tällöin ”kadota” jonkin ylimääräisen tilan täyttämiseen. (Tomlinson 1983, 31 - 14.)

Kuivat, eli vain ilmaa sisältävät onkalot eivät ole paalun ominaisuuksien kannalta niin haitallisia kuin veden täyttämät onkalot. Tällaisten onkaloiden tapauksessa betoni yleensä täyttää onkalon ja paaluun muodostuu onkalon muotoinen pullistuma. Tämä siinä tapauksessa, että työputken alapää ei nouse betonipinnan yläpuolelle (Kuva 23). (Fleming ym. 2009, 269.)



Kuva 23. Kuivaan ja löyhään hiekkamaahan on muodostunut kuiva onkalo todennäköisesti paalukaivantoa kaivettaessa. Betonoinnin ja työputken poistamisen yhteydessä onkalo on täyttynyt betonilla ja paaluun on muodostunut pullistuma. Kuva: Risto Savolainen 2010

Veden täyttämät onkalot voivat saada pullistumien sijaan aikaan kuroumia. Tässä tapauksessa raskaampi betoni leviää onkalon pohjalle. Onkalossa oleva vesi estää paalun normaalin poikkileikkauksen muodostumisen ja paaluun muodostuu kurouma. Tällaisessa tilanteessa paaluun voi jäädä heikkousvyöhyke jossa ei ole lainkaan betonia (Kuva 24). (Fleming ym. 2009, 269.)



Kuva 24. Veden täyttämä onkalo voi pahimmillaan aiheuttaa betonin huuhtoutumisen kokonaan pois paikallisesti (Fleming ym. 2009, 270).

Jos työputki nostetaan vahingossa betonipinnan yläpuolelle tai jos betonipinta putoaa äkillisesti em. onkalon vuoksi työputken alapään alapuolelle, voi ympäröivä maa-aines romahtaa paaluun jolloin syntyy myös kurouma. Tässä tapauksessa maa-aines paalukaivannon ulkopuolelta pääsee romahtamaan paalukaivantoon, koska työputki ei ole sitä suojaamassa. Tämä aiheuttaa paaluun kurouman, jossa maa-aines sekoittuu betoniin. Seurauksena hyvälaatuista betonia on vain paalun keskellä, jos sielläkään. Ehjän keskuksen ympärillä on maa-ainesta ja siihen sekoittunutta betonia. Tällainen heikko kohta paalussa haittaa merkittävästi paalun kykyyn vastaanottaa ja siirtää kuormia (Ka-Sing 2004, 15). Kaivinpaaluseinään se aiheuttaa heikon kohdan josta seinä voi vuotaa.

Edellä mainittuja ongelmia voidaan ehkäistä pitämällä upotusennakko, eli se kuinka paljon alempana työputken alapää on verrattuna paalukaivannon kaivutasoon, pohjaolosuhteisiin nähden riittävänä (SPO-2001, 93). Edellä mainittu ratkaisu riittää yleensä kaivettaessa kuivissa olosuhteissa. Vedenalaisessa kaivussa vedenvirtauksen aiheuttamaa maa-aineksen kaivantoon kulkeutumista ja täten onkaloiden muodostumista voidaan ehkäistä aikaansaamalla paalukaivantoon ylipaine. Tämä saadaan aikaan nostamalla vedenpinta työputken sisällä riittävän paljon pohjavedenpintaa ylemmäs, tai käyt-

tämällä kaivantoa tukevaa lietettä, kuten bentoniittia. Betonointivaiheessa onkaloiden aiheuttamia ongelmia voidaan estää varmistamalla että betonipinta pysyy koko betonoinnin ajan riittävän paljon työputken kärjen yläpuolella.

4.1.2 Paalukaivannossa olevat lohkareet

Kolmas tapa, jolla onkaloita on mahdollista muodostua, on paalukaivannon kaivun aikana kohdattavat lohkareet. Paalukaivannosta löytyvät lohkareet ja isot kivet on rikottava ja/tai poistettava kaivannosta. Suurpaalutusohje (SPO-2001, 93) suosittelee meislausta ensisijaiseksi tavaksi kivien tai lohkareiden poistamiseksi. Tässä menetelmässä käytetään pudotettavaa meisseliä jolla on tarkoitus rikkoa lohkare pienemmiksi paloiksi jotka voidaan poistaa kaivannosta. Toisena keinona mainitaan lohkareiden räjäyttäminen.

Jos lohkareita tiedetään olevan paalutettavalla alueella paljon pohjatutkimusten perusteella, voidaan kohteessa tehdä porauksia ja räjäytyksiä jo ennen paalutustyön aloittamista. Tällöin on kuitenkin varmistettava siitä, että ympäristölle ei aiheudu vaaraa räjäytystöistä. (SPO-2001, 93.)

Kelly-menetelmä tarjoaa vaihtoehtoja edellä mainituille tavoille. Kelly-menetelmällä on mahdollista porata rengaskruunulla varustetun työputken avulla kohtalaisen kokoisten lohkareiden läpi. Menetelmä soveltuu parhaiten pehmeiden kivilajien poraamiseen. Myös sydänkairaa tai lohkareiden läpäisyyn tarkoitettuja erityistyökaluja on mahdollista käyttää esteiden poistamiseen. Pehmeissä maakerroksissa voidaan myös yrittää saada kivi pyörähtämään pois tieltä pyörättämällä työputkea kiven päällä jatkuvasti samaan suuntaan. On huomattava, että työsaavutukset alenevat merkittävästi, kun joudutaan poistamaan lohkareita ja rengaskruunun hampaiden ja muiden käytettävien työkalujen kuluminen voi olla voimakasta. Hyvin lohkareiseen maaperään ei Kelly-menetelmä välttämättä ole muita kaivinpaalutusmenetelmiä kilpailukykyisempi valinta (Asikainen 2009, 2).

4.2 Paalun pohjan ongelmat

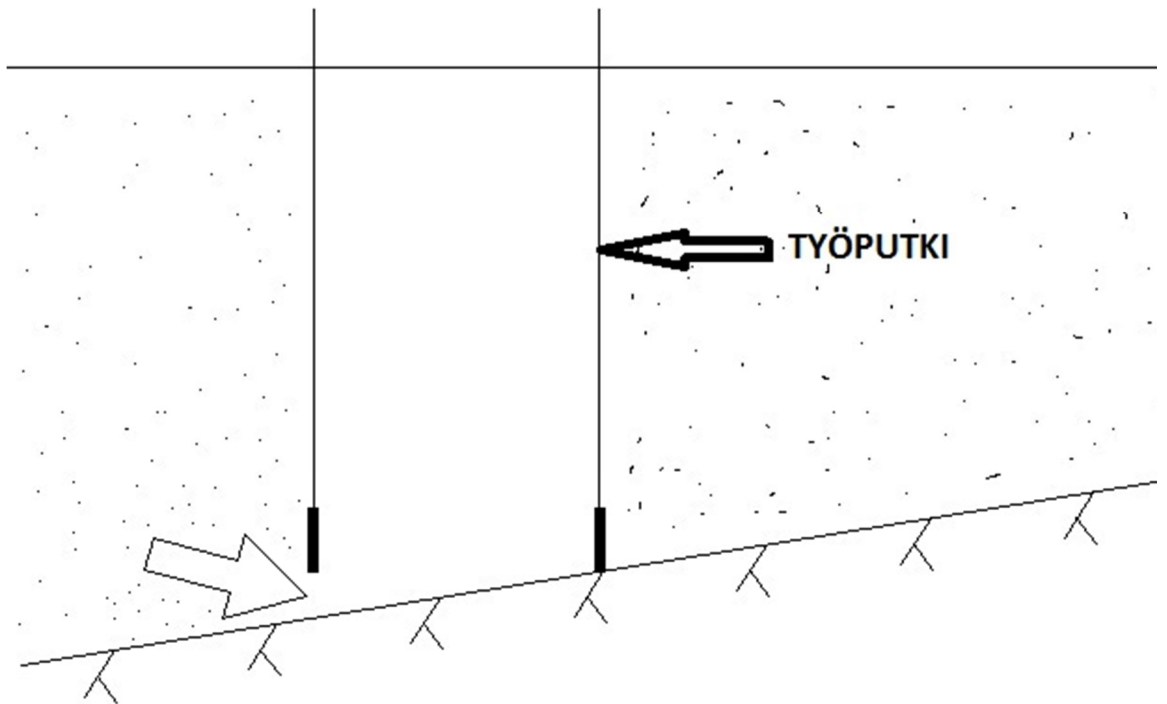
Suurpaalutusohje (SPO-2001, 95) toteaa, että työputken saavutettua tavoitetason tai kalliopinnan, paalun pohja tulee puhdistaa ja käsitellä paalulta vaadittavan kantavuuden edellyttämällä tavalla. Kaivinpaaluseinän kannalta oleellisinta paalun pohjan puhdistamisessa on hyvän sivuttaistuen saaminen paaluille ja sekä paaluseinän alapään saaminen tiiviiksi vuotamisen estämiseksi (Asikainen 1.4.2011).

Paalun pohjan huolellinen puhdistaminen on erittäin tärkeää erityisesti silloin, kun paalun kärjen on tarkoitus välittää kuormia maa- tai kallioperään, eli kun paalu toimii ns. tukipaaluna. Kaivinpaaluseinäkin voi joutua rakenteena ottamaan vastaan vaakasuuntaisen maanpaineen lisäksi myös pystysuuntaisia kuormia, jos seinän on tarkoitus toimia myös kantavana rakenteena. Maa-aines paalun pohjan alla voi vaarantaa paalun kantokyvyn ja lisäksi aiheuttaa painumia.

Hong Kongissa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että kaikista tutkituista paaluista joissa oli jokin laadullinen puute, 50 %:ssa tapauksista se johtui irtonaisen maa-aineksen jäämisestä paalun pohjalle (Ka-Sing 2004, 18).

Irtonaista maa-ainesta tai muuta sinne kuulumatonta materiaalia voi päätyä paalun pohjalle monella tavalla, mutta sen löytyminen kaivannon pohjalta johtuu aina huolimattomasta työskentelystä. Seuraavassa on kerrottu erilaisia tapoja, joilla maa-ainesta voi kulkeutua paalukaivannon pohjalle.

Ensimmäinen mahdollisuus on, että paalun pohjaa ei puhdisteta puhdistuskauhalla lainkaan, jolloin pohjalle jää maa-ainesta. Maata voi kulkeutua kaivantoon myös kaivannon ulkopuolelta. Yksi mahdollisuus tähän on silloin, kun paalun pohja valetaan kaltevan kalliopinnan päälle. Tällöin on vaarana, että työputken ja kallion väliin jää rako sille puolelle, missä kallio on alempana (Kuva 25). Tästä raosta maa-aineksia voi sortua kaivantoon tai kaivannossa virtaava vesi voi tuoda sitä mukanaan. Tämä voidaan mahdollisesti havaita maanpinnan vajoamisena kaivannon lähellä jos sortuma on suuri. Kyseinen skenaario voidaan estää poraamalla työputki kallioon niin syväälle, että rako umpeutuu. Ongelmana on, että pientä rakoa on vaikea havaita, joten pieni sortuma voi helposti jäädä havaitsematta (Ka-Sing 2004, 10). Työputken ja kallion välinen rako on kuvattu



Kuva 25. Periaatteellinen esitys kallion ja työputken väliin jäävästä raosta, ja siitä mahdollisesti seuraava maa-aineksen pääseminen paalukaivantoon. Nuoli osoittaa rakoa josta maa-aines voi päästä paalukaivantoon. (Ka-Sing 2004.)

Jos paalukaivannossa on vettä, voi vedessä oleva hienoaines laskeutua kaivannon pohjalle. Tätä on mahdollista ehkäistä ns. airlifting - tekniikalla. Tässä menetelmässä paalukaivanto täytetään vedellä ja kaivannon pohjalle lasketaan putki, jonka kautta pumpataan ilmaa kovalla paineella kaivannon pohjalle. Ilmakuplat nostavat vedessä olevat epäpuhtauksia sisältävän veden ylös paalukaivannosta. (Ka-Sing 2004, 7.) Työputkesta poistuva likainen vesi korvataan puhtaalla vedellä sitä mukaa kun likainen vesi poistuu. Menetelmässä on otettava huomioon, että pumppaamisesta johtuva veden virtaus voi imeä hienoaineksia työputken ulkopuolisesta maasta ja näin aiheuttaa löyhtymistä työputken ulkopuolisessa maaperässä (SPO-2001, 95).

Jos paalu perustetaan maakerrokseen ja on olemassa vaara maapohjan hydrauliselle murtumiselle, tulee kaivannossa pitää riittävä määrä vettä vastapaineen aikaansaamiseksi, jotta murtuminen estetään (SPO-2001, 95).

Paalukaivantoon voi myös pudota sinne kuulumatonta materiaalia maanpinnalta. Materiaali voi olla esim. maa-ainesta, työkaluja, vaatteita, rakennusmateriaaleja jne. Maa-aineksen paalukaivantoon putoamisen estämiseksi työputken yläpäähän olisi hyvä olla

riittävästi maanpinnan yläpuolella. Betonointia odottavat keskeneräiset paalukaivannot tulee myös suojata, jotta kaivantoon ei pääse putoamaan ihmisiä eikä tavaroita.

Kaivannon pohjan puhtaus voidaan todeta monella eri tavalla. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi koetintankoa, jolla voidaan koputtaa kaivannon pohjaa jos paalu valetaan kallion päälle. Myös kaivannon pohjalle laskettavan lampun tai kameran avulla on mahdollista todeta paalun puhtaus. Ka-Singin (2004, 7) mukaan ulkomailla on käytetty joissain tapauksissa myös sukeltajia tai erityistä ikkunoilla varustettua kapselia jossa ihminen voidaan laskea kaivannon pohjalle tarkastamaan pohjan puhtaus. On kuitenkin otettava huomioon, että nämä ovat varsin vaarallisia ja kalliita toimenpiteitä eivätkä sovellu kaikkiin kohteisiin.

Riippumatta pohjan puhdistusmenetelmästä tai puhtauden toteamistavasta, pohja tulisi puhdistaa vasta juuri ennen betonoinnin aloittamista, jotta pohjalle ei pääse kertymään maa-aineksia puhdistamisen ja betonoinnin aloittamisen välillä.

4.3 Betonointi

Betonoinnista aiheutuvat ongelmat voidaan karkeasti jakaa kolmeen ryhmään. Ne ovat vääränlaisesta betonista johtuvat virheet, vääränlaisesta raudoitteesta johtuvat virheet sekä betonoinnin ja työputken ylösvetämisen aikana tehdyistä työvirheistä johtuvat laatuongelmat.

4.3.1 Vääränlaisesta betonista aiheutuvat ongelmat

Kuten on aiemmin mainittu, tulee kaivinpaaluihin käytettävän betonin olla mm. työstettävää, koossapysyvää, itsetiivistyvää ja erottumista kestävä. Jos betonimassa on liian jäykkää, betoni ei välttämättä virtaa kaivannon koko poikkileikkausalalle. Esimerkiksi työputkea nostettaessa betoni ei virtaa täyttämään työputkelta vapautuvaa tilaa, minkä vuoksi paalusta tulee kapeampi kuin on suunniteltu, eikä se tiivisty kunnolla (Fleming ym. 2009, 267).

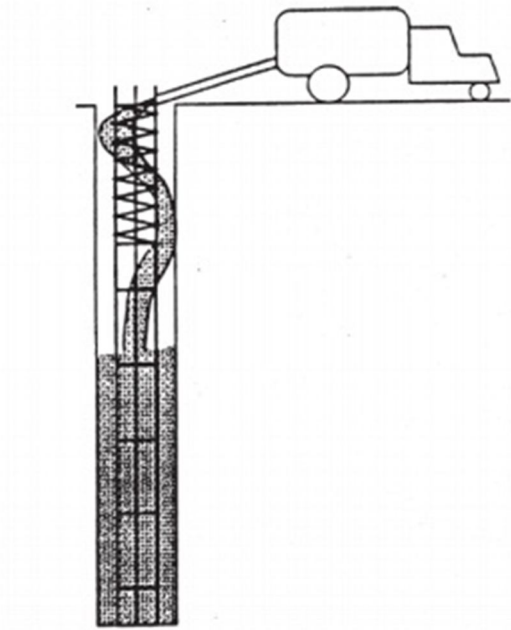
4.3.2 Väärin suunnitellusta raudoitteesta aiheutuvat ongelmat

Betonoinnin kannalta raudoitteen on tärkeää olla sellainen, että se ei estä betonin virtaamista paalukaivannossa. Mikäli raudoitteen pääteräkset ja/tai hakarautoite on suunniteltu liian tiheäksi, betoni ei välttämättä pääse virtaamaan raudoitteen ulkopuolelle, jolloin raudoitteen ulkopuoli jää ilman betonipeitettä. Tässä tapauksessa raudoitteella ei jää kunnollista korroosiosuojaa. Tällainen ilmiö on todennäköisempi, jos käytetään edellä mainittua liian jäykkää betonimassaa. (Fleming ym. 2009, 274).

4.3.3 Betonoinnin ongelmat

Itse betonin laskemisessa paalukaivantoon on myös otettava huomioon asioita, joiden laiminlyöminen voi aiheuttaa epätydyttävän lopputuloksen. Betonoinnin aikana tulisi ensinnäkin varmistaa, että paalukaivantoon ei pääse putoamaan mitään sinne kuulumatonta, kuten maa-ainesta. Betonin sekaan pudonnut maa-aines tai muu sinne kuulumatonta materiaali saa aikaan heikkousvyöhykkeen, joka heikentää paalun ominaisuuksia. (Caltrans 2008, 6 - 16.)

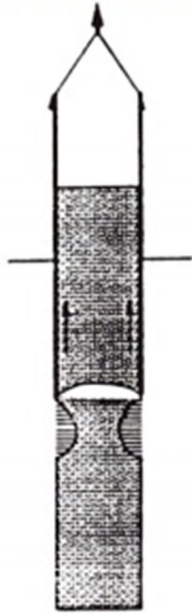
Toinen ongelma on betonin erottuminen kaivantoon laskemisen aikana. Betoni voi päästä erottumaan, jos se osuu kaivantoon pudotessaan paalukaivannon seiniin tai raudoitteeseen (Kuva 26). Tämän vuoksi on tärkeää käyttää valuputkea ja valusuppiloa, joiden avulla betoni saadaan ohjattua paalukaivannon keskelle eikä betoni putoa liian korkealta kaivantoon. Erottumisen vaara on erityisen suuri, jos betonia pudotetaan paalukaivannossa olevaan veteen. Tällöin erottumisen lisäksi on vaarana, että betonista huuhtoutuu sementtiä pois veden vaikutuksesta. Tämän lisäksi betoni ei tässä tapauksessa välttämättä leviä paalukaivannon koko alalle, jolloin paalun alaosasta tulee epämuodostunut. Muutoin oikein suoritettussa vedenalaisessa valussa voidaan myös saada aikaan heikkoja vyöhykkeitä paaluun, jos valuputken liitokset eivät ole vesitiiviitä. Vuotavista liitoksista voi tällaisessa tilanteessa päästä vuotamaan valuputken sisään ja sekoittua betoniin. Tästä on seurauksena betonin laadun ja täten koko paalun laadun huonontuminen (Ka-Sing 2004, 14).



Kuva 26. Betonoitaessa ilman valuputkea betoni voi osua paalukaivannon seinämiin ja raudoitteeseen ja erottua (Caltrans 2008, 6 - 17).

4.3.4 Työputken poistamiseen liittyvät ongelmat

Työputken ylösvetämisessä on aikaisemmin mainittujen ongelmien lisäksi olemassa myös betonin asettumisesta seuraavia riskejä. Jos betoni ehtii asettua liikaa ennen työputken poistamista, voi siitä seurata seuraavanlaisia ongelmia. Ensimmäinen mahdollisuus on, että betoni ehtii asettua niin paljon, että työputki tarttuu betoniin niin tiukasti, ettei sitä saada enää nostettua ylös. Toisiaan leikkaavan kaivinpaaluseinän tapauksessa viereisiä paaluja ei voida tehdä, jos työputki on jäänyt kiinni vieressä olevaan paaluun. Tilanteessa, jossa työputki saadaan vedettyä pois maasta, mutta betoni on jo ehtinyt asettua liikaa, voi osa betonista lähteä nousemaan työputken mukana ylös. Tämä voi aiheuttaa alipaineen työputken mukana nousevan betonin alapuolelle. Alipaine voi saada aikaan maan sortumisen paalukaivantoon, jolloin paaluun muodostuu aikaisemmin kuvatun kurouman kaltainen heikko kohta (Kuva 27). (Caltrans 2008, 6 - 18)



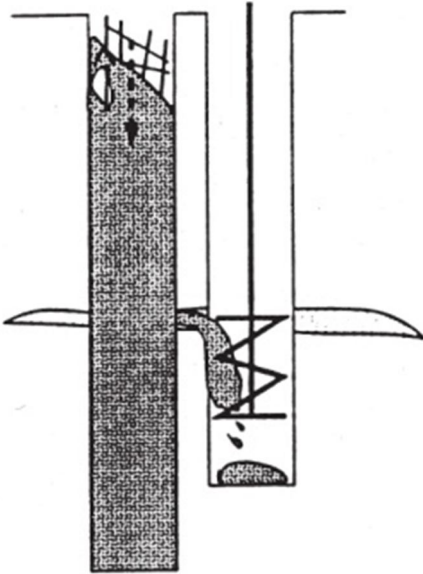
Kuva 27. Betoni on ehtinyt asettua liikaa ennen työputken poistamista ja lähtee osittain nousemaan työputken mukana. Nousevan betonin alapuolelle muodostuu alipaine, jonka vuoksi paalukaivannon seinämät voivat tällä kohdalla romahtaa ja paaluun muodostuu heikko kohta. (Caltrans 2008, 6 - 19.)

4.4 Paalujen valmistusjärjestyksen vaikutus betonointiin

Kun paaluja tehdään lähelle toisiaan, on otettava huomioon, missä järjestyksessä ne toteutetaan. Jos aikaisemmin valetun paalun betoni ei ole vielä saavuttanut riittävää stabiliteettia, voi sen vieressä tapahtuva paalutustyö aiheuttaa vaurioita aikaisempaan paaluun. Kaivinpaaluseinän rakentamisessa paalujen valmistusjärjestys korostuu erityisesti, sillä paaluja tehdään jatkuvasti lähelle toisiaan. On tärkeää tietää, milloin primaaripaalun voi tehdä toisen primaaripaalun viereen ilman, että aikaisemmin rakennettu paalu vaurioituu. Lisäksi on myös huolehdittava, että sekundaaripaaluja tehdessä viereisten primaaripaalujen betoni ei ole saavuttanut liian suurta lujuutta, sillä sekin voi aiheuttaa ongelmia.

Jos äskettäin betonoidun paalun lähellä kaivetaan uutta paalukaivantoa, on vaarana että uuden ja aikaisemman paalun välinen maaseinä murtuu. Tämä voi tapahtua jos aikaisemmin valetun paalun betoni ei ole saavuttanut riittävää stabiliteettia eli koossapysyvyyttä. Asettumattoman betonin aiheuttama sivusuuntainen paine voi puhkaista paalujen välisen maaseinämän ja betoni voi vuotaa vieressä kaivettavaan paalukaivantoon. Jos aikaisempi paalu on raudoitettu, voi raudoite vääntyä betonivuodon yhteydessä. Mikäli paalut tehdään niin lähelle toisiaan että niiden välissä ei ole maaseinämää, voi

betoni vuotaa paalusta pois vielä tätäkin helpommin. Betonivuodon voi havaita aikaisemman paalun betonipinnan mahdollisesti vuodon suuntaan kaltevana putoamisena (Kuva 28). Pahimmassa tapauksessa aikaisemman paalun raudoite ja betoni voidaan joutua poistamaan maasta kokonaan ja koko paalu tekemään uudelleen (Caltrans 2008, 6 - 17).



Kuva 28. Äskettäin tehdyn paalun betoni ei ole saavuttanut stabiliteettia. Viereistä paalukaivantoa tehdessä kaivantojen välinen seinämä murtuu ja betonia valuu viereiseen kaivantoon. (Caltrans 2008, 6 – 18.)

Toisiaan leikkaavista paaluista muodostuvassa kaivinpaaluseinässä voidaan kohdata ongelmia myös, jos betoni on ehtinyt saavuttaa liian suuren lujuuden. Tehtäessä sekundaaripaaluja työputken täytyy leikata primaaripaaluja. Jos betoni on asettunut liikaa, työputki ei välttämättä leikkaa viereisiä paaluja toivotulla tavalla. Liian kovan betonin leikkaaminen saattaa vaikeuttaa työputken porautumista viereisiin paaluihin siinä määrin, että työputki voi työntyä sivuun tarkoitetusta sijainnistaan. Tällöin paalu ei tule sivusuunnassa oikealle kohdalle ja paalu ei tule samaan linjaan muiden paalujen kanssa, eli paaluseinän paalut harittavat. Tästä johtuen paalut eivät välttämättä liity tällä kohtaa toisiinsa halutulla tavalla. Paalujen liitoskohtaan saattaa muodostua heikkoja kohtia tai rakoja, joista seinä voi vuotaa, mikäli sen takana on vettä tai vesipitoista maata (SFS-1536 8.4.5). Liian suuren lujuuden saavuttaneeseen paaluun voi harittamisen lisäksi tulla myös tulla helpommin halkeamia tai repeämiä.

4.5 Pohjaveden virtauksesta betonille aiheutuvat ongelmat

Olosuhteissa, joissa pohjaveden virtaus on voimakasta, on onkaloiden muodostumisen lisäksi mahdollista, että sementti huuhtoutuu virtaavan veden vaikutuksesta pois paalun varresta. Tällöin paalun varteen voi muodostua alue, josta sementti on huuhtoutunut pois kokonaan. Tämä tosin vaatii hyvin vettä johtavan maakerroksen, jotta vesi voi virrata kyllin nopeasti huuhtoakseen sementin pois. (Fleming ym. 2009, 272.)

Tapauksessa, jossa paalun suunniteltu yläpää tai katkaisutaso on pohjavedenpinnan alapuolella, voi ongelmana olla veden tunkeutuminen paalukaivantoon työputkea nostettaessa. Jos pohjavedenpinta on riittävän paljon paalukaivannossa olevan betonipinnan yläpuolella, voi veden paine alkaa työntämään vettä työputken alapään kautta paalukaivantoon. Paalukaivannossa vesi pyrkii nousemaan betonipinnan yläpuolelle, jolloin se kulkee osittain betonin läpi huonontaan betonin laatua. Tällainen tilanne voi syntyä jos veden paine ylittää kaksinkertaisesti betonin aiheuttaman paineen työputken alapäässä. Tilanne on mahdollista estää pitämällä paine paalukaivannossa ulkoista veden painetta suurempana. Tämä voidaan tehdä valamalla paalu tarkoitettua pidemmäksi, tai täyttämällä paalun yläpään yläpuolinen työputki hiekalla ja vedellä. (Fleming ym. 2009, 273.)

4.6 Ongelmat pehmeässä maaperässä

Maaperässä, jonka suljettu leikkauslujuus on n. 15 - 20 kN/m² tai vähemmän, voi vuorostaan betonin maahan kohdistama paine aiheuttaa ongelmia. Tällaisessa pehmeässä maaperässä betonipatsaan aiheuttama sivusuuntainen paine voi ylittää maaperän antaman vastapaineen, kun kaivantoa työn aikana tukeva työputki poistetaan. Tämä johtaa siihen, että maaperän paineen vastaanottoikyky ylittyy ja betoni pääsee levittäytymään suunniteltua poikkileikkaustaan leveämmälle alueelle, muodostaen pullistumia paaluun. Pullistumien muodostumista voi epäillä, jos betonia kuluu selvästi arvioitua enemmän. (Fleming ym. 2009, 272.)

Paalun yläpään alueella, missä betonin aiheuttama sivusuuntainen paine on verraten pieni maanpaineeseen verrattuna, Pehmeän maaperän paine voi ylittää betonin aiheuttaman paineen, ja puristaa paaluun pienen kaulamaisen kurouman. Nämä ongelmat on mahdollista ennakoida ja myös välttää hyvien pohjatutkimusten avulla. (Fleming ym. 2009, 272.)

4.7 Havaintoja Kelly-menetelmään ja laadullisiin tekijöihin Alatorihankkeen osalta

4.7.1 Kelly-menetelmän soveltuvuus työkohteeseen

Tämän tutkielman kirjoitushetkellä olevan tiedon perusteella Kelly-menetelmä näyttää soveltuneen hyvin Alatorihankkeen työmaaolosuhteisiin. Se, että Kelly-menetelmä ei aiheuta juurikaan tärinää, oli tiheästi rakennetulla alueella sijaitsevan työkohteen kannalta erittäin hyödyllistä. Paalutustyötä oli tehtävä rakennusten välittömässä läheisyydessä, ja osa rakennuksista oli vanhoja kivilatomukselle perustettuja, eli erittäin herkkiä tärinän aiheuttamille vaurioille. Siitä huolimatta kaivinpaalutustyö ei ylittänyt tärinän raja-arvoja, jotka olivat herkimpien rakennusten kuten Kuopion Kauppahallin tapauksessa vain 2 mm/s. Joten voidaan todeta, siltä osin menetelmä soveltuu erinomaisesti tiheästi rakennetuilla alueilla työskentelyyn (Kuva 29). (Asikainen 1.4.2011)



Kuva 29. Kaivinpaalutuskone tekemässä paalua kauppahallin välittömässä läheisyydessä. Kuva: Niko Asikainen 2010

Hiekkainen ja sorainen, maaperä ei aiheuttanut muuten ongelmia työkoneille tai työkaluille, mutta yllättävän suuri määrä isoja kiviä ja lohkareita löytyi kauppahallin itäpuolelta alkaen aina Puijonkadulle saakka (Kuva 30). Kiviä ja lohkareita löytyi kaikkiaan 190 kpl. Kivinen maaperä hidasti työsaavutuksia merkittävästi ja aiheutti voimakasta kulumista

työkalujen ja työputken hampaissa. Lisäksi joihinkin työputkiin tuli muodonmuutoksia suuresta rasituksesta. Suurin osa kivistä saatiin poistettua augerin tai sydänkairan avulla, mutta suurimpia jouduttiin meislaamaan ennen kuin ne saatiin palasina nostettua pois kaivannosta (Kuva 31). Meislausta varten työmaalle piti tuoda vanhemman mallinen BAUER BG paalutuskone, jossa oli vapaapudotteinen vinssi. (Asikainen 1.4.2011.)



Kuva 30. Paalukaivannosta nostettuja kiviä ja lohkareita. Kuva: Niko Asikainen 2010



Kuva 31. Sydänkairalla paalukaivannosta nostettu kivi. Kuva: Niko Asikainen 2010

Kivet eivät kuitenkaan, hidastamisesta huolimatta estäneet paalutustyötä, vaan itse asiassa toivat paalutuskoneille lisää töitä. Puijonkadulle oli alkuperäisten suunnitelmien mukaan tarkoitus tehdä enemmän tuentaa teräsponteilla, mutta kivisestä maaperästä johtuen pontteja ei saatu lyötyä kallioon asti ja jotkut niistä alkoivat mennä vinoon (Kuva 32). Tämä johti siihen, että Puijonkadulla Lyseon lukion puolella tuentaa tehtiin kaivinpaaluseinällä alkuperäistä suunnitelmaa pidemmälle, sillä kaivinpaalut saatiin menemään kallioon asti kivisyydestä huolimatta. (Asikainen 1.4.2011.)



Kuva 32. Kivisestä ja tiukasta maaperästä johtuen teräsponteja ei ole saatu lyötyä määräsyyvyyteen ja osa ponteista on mennyt vinoon. Kuva: Risto Savolainen

4.7.2 Kaivinpaaluseinissä havaittuja ja mahdollisia odotettavissa olevia laadullisia tekijöitä

Siltä osin, miltä näkyvissä olevaa kaivinpaaluseinää on päästy tarkastelemaan, se vaikuttaa onnistuneen hyvin. Paalut ovat hyvin kiinni toisissaan eikä yksittäisten paalujen sijaintipoikkeamia ole silmämääräisesti havaittavissa. Myöskään ongelmallisia kuroumia ei ole tämän opinnäytetyön kirjoittamiseen mennessä ole tullut esiin. Sen sijaan erikoisia pullistumia (Kuva 23) on löytynyt useita. On todennäköistä, että niitä löytyy vielä lisää, kun kaivu etenee syvemmälle. Pullistumat eivät kuitenkaan ole erityisen haitallisia, sillä ne voidaan poistaa piikkaamalla, eivätkä ne vaikuta seinään heikentävästi tai aiheuta vuotavia kohtia.

Paaluseinän kalliokontakti useassa kohdassa on todennäköisesti vain osittainen. Tämä johtuu epätasaisesta kalliopinnasta. On odotettavissa, että useissa paaluissa vain yksi reuna on kiinni kalliossa ja toinen reuna on hiekan päällä. Tämä johtaa siihen, että paaluseinän alapäässä on paljon rakoja. Nämä eivät aiheuta suuria ongelmia seinälle rakenteellisesti, sillä se ei toimi kantavana rakenteena. Lisäksi juuripalkin valaminen sulkee kaikki raot, mitä seinän alapäässä on. Raoista voi kuitenkin seurata ongelmia mikäli

kalliopinnalla virtaa vettä. Työmaalla havaittiin joissain paikoissa virtaavaa vettä paalu-kaivannon pohjalla. Raoista virtaava vesi voi vaikeuttaa juuripalkin valamista. Tämän lisäksi tiedetään, että yksi paalu on valettu kiven tai lohkareen päälle. Kauppahallin seinustalla paalutettaessa yksi paalu oli viereisiä selvästi lyhyempi. Tämän ajateltiin johtuvan epätasaisesta kalliopinnasta. Porattaessa kalliotappeja raudoitteeseen etukäteen asennettujen putkien kautta kuitenkin huomattiin, että paalun alla oli kivi, jonka alla oli noin 20 cm hiekkaa ennen kalliopintaa. (Asikainen 1.4.2011.)

Paalujen pinnassa on noin 2 - 3cm kerros hiekkaa johon on sekoittunut sementtiliimaa (Kuva 33). Tämä kerros on melko hauras ja rikkoutuu esimerkiksi lapion kärjellä lyötäessä. Tämän kerroksen alla on kiinteä betonipinta, johon ei näytä sekoittuneen maainesta. Paalujen väleihin olisi hyvä tehdä koeporauksia jotta selviäsi, kuinka paljon paalujen leikkauskohdassa on kiinteää betonia ja kuinka paljon sementin ja hiekan sekoitusta.



Kuva 33. Paalujen pinnassa oleva sementistä ja hiekasta koostuva kerros. Alaosasta kerros on poistettu, ja kiinteä betonipinta on näkyvissä. Kuva: Risto Savolainen

Joissain raudoittamattomissa paaluissa on havaittavissa myös pieniä halkeamia, jotka johtuvat todennäköisesti siitä, että paalu on ehtinyt saavuttaa liian suuren lujuuden ennen kuin raudoitettu paalu on tehty sen viereen (Kuva 34 ja Kuva 35). Tässä tapaukses-

sa liian kovaksi päässyt betoni on haljennut kun työputki on leikannut sitä. Halkeamat eivät kuitenkaan ole kovin suuria ja niitä on tässä vaiheessa havaittu vain paalujen yläosissa, joten suurta haittaa niistä ei todennäköisesti ole, koska seinän yläpään takana ei ole vettä, joka voisi vuotaa raoista.



Kuva 34. Raudoittamattoman paalun keskellä oleva halkeama. Myös paalun vasemmassa reunassa on pienempi halkeama. Kuva Risto Savolainen



Kuva 35. Kuvan keskellä olevasta raudoittamattomasta paalusta on lohjennut pala vierestä vasemman puoleista paalua tehtäessä. Kuva: Risto Savolainen

Kaivinpaaluseinistä mahdollisesti löytyviä laadullisia tekijöitä oli alun perin tarkoitus päästä etsimään ja kuvaamaan laajemmin. Kuopion Kauppahallin lisärakennuksen eli niin kutsutun Kalahallin purkamispäätöksestä syntyneiden valitusten vuoksi työmaa on kuitenkin viivästynyt merkittävästi. Tämän opinnäytetyön aikataulun puitteissa ei kaivinpaaluseiniä ole voitu kaivaa kokonaan näkyviin missään kohtaa työmaata. Paikoitellen niitä seinää on kuitenkin näkyvissä jo noin 6 metriä. Alkuperäisen suunnitelman mukaan Kalahalli oli tarkoitus purkaa ja pysäköintihallin rakentamista varten kaivettava kaivanto ulottaa Kauppahallin pohjoisseinään asti. Koska Kalahallin purkaminen urakoitsijasta riippumattomista syistä estyi, kaivantoa ei ole voitu kaivaa, sillä Kalahalli on perustettu maakerrokseen, joka on tarkoitus poistaa. Tämän raportin kirjoitusvaiheessa Kalahallia ollaan tukemassa paalujen ja teräsristikoiden varaan, jotta kaivanto voitaisiin kaivaa ja työmaa voisi edetä.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kokonaisuutena voidaan todeta Kuopion Alatorihankkeen kaivinpaaluseinien onnistuneen hyvin. Mitään ylitsepääsemättömiä ongelmia ei kohdattu seinien rakennusvaiheessa, eikä valmiissa seinissäkään ole tähän mennessä havaittu vakavia laadullisia ongelmia. Kelly-menetelmä vaikuttaa sopivan hyvin tiheästi rakennetuille alueille, koska paalutusta voidaan tehdä aivan rakennusten vieressä, eikä menetelmästä aiheudu merkittäviä tärinöitä. Alatorihankkeessa saatujen kokemusten perusteella Kelly-menetelmä on vastaisuudessa varteenotettava vaihtoehto kaivinpaaluseinien rakentamiseen Suomessa, mikäli pohjaolosuhteet ovat suotuisat. Alatorihankkeen kokemusten perusteella menetelmä toimii myös varsin kivisessä maaperässä, mutta työsaavutukset heikkenevät merkittävästi ja työkalut kuluvat voimakkaasti. Kelly-menetelmä on parhaimmillaan kivetömissä maaperäolosuhteissa.

Mikäli paaluista löytyy edellä mainittuja tai muita laatupoikkeamia sitten kun seinät on saatu kaivettua kokonaan näkyviin, olisi hyvä dokumentoida löytyneet laatupoikkeamat ja jos mahdollista, pyrkiä löytämään niille mahdollinen syy. Näin saataisiin kartutettua tietoa laatupoikkeamista ja verrattua tietoa ulkomaisesta kirjallisuudesta löytyviin esimerkkeihin. Kaivinpaaluseinille ei Suomessa tällä hetkellä ole yhtä kattavia laatuvaatimuksia tai ohjeita kuin yksittäisille kaivinpaaluille. Toivon mukaan tämä tilanne korjautuu tulevaisuudessa. Kaivinpaaluseinistä ei myöskään ole vielä kertynyt juuri suomalaisesta tutkimustietoa, joten kaikki talteen kerättävä tieto on tarpeellista.

Vastaisuudessa kaivinpaaluseiniä rakennettaessa paalujen laadullisten tekijöiden kartoittamisen lisäksi kaltevuusmittarien asentaminen paalujen raudoitteisiin voisi olla tutkimisen arvoista. Näin saataisiin tarkkaa tietoa kaivinpaaluseinän liikkeistä ja myös mahdollisesti siitä mistä liikkuminen aiheutuu.

LÄHTEET

Asikainen, Niko 2009. Kaivinpaalutus Kelly-menetelmällä. Teknillinen Korkeakoulu. Diplomityö

Asikainen Niko. Työnjohtaja, Skanska Infra Oy. Haastattelu 1.4.2011

BAUER Maschinen GmbH. Method Statement and Specification for The Construction of Secant Pile Wall. [paalutuskoneen valmistajan toimittama ohjekirja]

Caltrans 2008. Foundation Manual. State of California Department of Transportation Division Engineering Services. Ohjekirja. [Viitattu 16.2.2011] Saatavissa osoitteessa: <http://www.dot.ca.gov/hq/esc/construction/manuals/OSCCompleteManuals/Foundation.pdf> [sähköinen käsikirja]

Fleming K, Weltman A, Randolph M, Elson K 2009. Piling Engineering. Third Edition. 2 Park, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN: Taylor & Francis

Ka Sing, L 2004. Design and Construction Related Defects of Large Diameter Bored Piles, Prevention and Remedial Measures. University of Hong Kong. [Viitattu 23.2. 2011] Saatavissa osoitteessa: <http://sunzi.lib.hku.hk/hkuto/nonHKU.jsp> [opinnäytetyö]

SFS-EN 1536. 2006. 1. Painos. Pohjarakennustyöt. Kaivettavat paalut. PL 116, 00241 Maistraatinportti 2 Helsinki: SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO

SPO-2001, RIL 212-2001 Suurpaalutusohje 2001. Dagmarinkatu 14 6. Krs, 00100: SUOMEN RAKENNUSINSINÖÖRIEN LIITTO RIL R.Y.

The Institution of Civil Engineers 2003. Specification for Piling and Embedded Retaining Walls. ISBN: 0 7277 2566 1

Tomlinson M. J. 1983. Piles and Piled Foundations. Teoksessa: Kong, F.K., Evans, R.H., Cohen, E. & Roll F. (toim.) Handbook of Structural Concrete. ISBN 0-273-08555-7

Arkkitehtitoimisto QVIM arkkitehdit Oy, Kuopio. Reijo Mitrunen, Arkkitehti SAFA. [viitattu 27.4.2011] [Kuopion Alatorihanketta havainnollistava PowerPoint esitys]