

Tampereen Ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Yhdyskuntatekniikka
Siuko Juuso

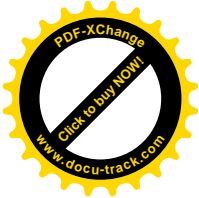
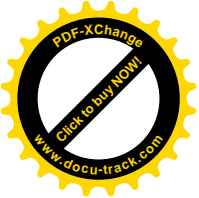
Opinnäytetyö

Halikon sillan penkereiden stabiliteetin seurantatutkimus

Työn ohjaaja
Työn teettäjä

DI Hannele Kulmala
Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy, Valvojana DI Sami
Rantala

Tampere 4 / 2009



Tampereen Ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Yhdyskuntatekniikka

Siuko Juuso

Halikon sillan penkereiden stabiliteetin seurantatutkimus

47 sivua + 37 liitesivua

Huhtikuu 2009

Työn ohjaaja

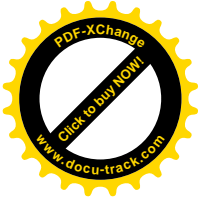
DI Hannele Kulmala

Työn teettäjä

Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy, valvojana DI Sami
Rantala

TIIVISTELMÄ

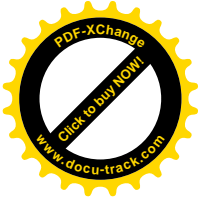
Työn tarkoituksena on tutustua rakentamistoimenpiteistä johtuviin ympäristöhaittoihin ja vaikutuksiin. Alussa kerrotaan teoriaa eri ympäristövaikutuksista sekä rakennustoimenpiteistä, ja lopuksi käydään läpi, miten ympäristövaikutukset ovat vaikuttaneet rakentamiseen esimerkkikohteessa. Esimerkkikohte on geoteknisesti erittäin vaativa luontaisesti huonon stabiliteettinsa, heikkojen maakerrosten sekä suurten korkeuserojen vuoksi. Työssä keskitytään rakennustoimenpiteistä lähinnä paalutukseen ja siitä aiheutuvien ympäristöhaittojen pohdintaan. Perusteellisimmin työssä käydään läpi tärinää ja sen huomioon ottamisen merkitystä rakentamisessa. Ympäristövaikutuksien seuranta on tärkeää, koska tilanteet saattavat muuttua ja muutoksien vaikutuksien on oltava nopeasti tiedossa, siksi työssä otetaan kantaa myös ympäristövaikutuksien seurantaan.



Tampereen Ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Yhdyskuntatekniikka

Sisällysluettelo

1. JOHDANTO.....	5
1.1 TYÖN TARKOITUS.....	5
1.2 YRITYSESITTELY.....	6
1.3 HANKKEEN KUVAUS.....	7
2. TÄRINÄ MAAPERÄSSÄ	9
2.1 YLEISTÄ	9
2.2 PAALUTUSTÄRINÄ.....	10
2.3 TÄRINÄN LIIKKUMINEN MAAPERÄSSÄ	13
2.4 TÄRINÄN VAIMENEMINEN.....	15
3. PAALUTUS.....	17
3.1 YLEISTÄ	17
3.2 KAIVINPAALUT	20
3.3 FRANKIPAALUT.....	21
3.4 VIBREX-PAALU	22
3.5 TERÄSBETONIPAALUT	23
3.6 TERÄSPUTKIPAALUT	24
3.7 PAALUTUKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	25
4. LIIKENNETÄRINÄ.....	28
5. ESIMERKKIKOHDE	30
5.1 YLEISTÄ	30
5.2 SILTAPAIKKA	30
5.3 ESIMERKKIKOHTTEEN GEOTEKNIikka	31
5.4 POHJARAKENNUSRATKAISUT.....	34
5.5 TYÖNAIKAINEN SEURANTA.....	36
5.6 TÄRINÄ ESIMERKKIKOHTTEESSA.....	38
5.7 PAALUTUS ESIMERKKIKOHTTEESSA	38
6. YHTEENVETO	45
LÄHTEET	46
LIITTEET.....	47



1. JOHDANTO

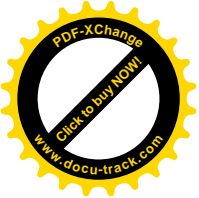
1.1 Työn tarkoitus

Rakentamisessa täytyy usein ottaa huomioon siitä aiheutuvia haittoja ympäristölle. Haittoja tulee osata ennakoida, ja näin ollen ympäristöhaittoja pyritään estämään tai pienentämään jo suunnitteluvaiheessa. Ympäristöhaittojen laajuus on aina tapauskohtaista riippuen monesta tekijästä esim. pohjaolosuhteista, työvaiheista sekä kalustosta.

Tässä työssä on kaksi osiota. Ensimmäisessä tutkitaan, mitä rakentamisesta johtuva tärinä on, mitä ympäristövaikutuksia se aiheuttaa ja miten tärinä tulisi ottaa huomioon rakentamisessa. Siinä käsitellään sekä paalutusta työvaiheena ja siihen vaikuttavia seikkoja kuten työtavan- sekä kaluston valinta, että paalutuksesta johtuvia ympäristövaikutuksia ja miten ne tulee ottaa huomioon. Ensimmäisessä osiossa käydään läpi myös liikenteestä johtuvat ympäristövaikutukset sekä se, miten liikenne vaikuttaa rakentamiseen työn aikana sekä rakennusvaiheen jälkeen.

Toisessa osiossa kerrotaan esimerkin kautta, miten edellä mainitut asiat vaikuttavat työn suunnitteluun sekä toteutukseen. Esimerkkinä toimii Halikon silta. Tässä osiossa kerrotaan myös, miten ympäristövaikutuksia kuten maaperän liikkeitä, pohjavedenpinnan alenemista ja tärinää on mitattu työn aikana ja mitä tuloksia on saatu. Samalla arvioidaan tuloksia ja pohditaan mittaustapojen toimivuutta.

Työn tarkoituksena on siis tuottaa tietoa eri työvaiheista johtuvista ympäristövaikutuksista ja siitä, miten ne vaikuttavat rakentamiseen. Kerättyä tietoa voidaan soveltaa tulevaisuudessa toimintatapoihin sekä ympäristöhaittojen arvioimiseen



1.2 Yritysesittely

Työn teettäjän toimiva Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy on sillanrakennukseen sekä muuhun vaativaan insinöörirakentamiseen erikoistunut urakoiva insinööritoimisto, joka on perustettu Tampereella vuonna 1972. Tästä asti toiminta on jatkunut yhtäjaksoisesti samalla nimellä. Yhtiön kotipaikka on Tampere, toiminta-alueena on koko maa. Merkittävimpiä tilaajia yhtiön toiminta-aikana ovat olleet Tiehallinto, Tieliikelaitos / Destia, Ratahallintokeskus, Oy VR Rata Ab sekä kaupungit ja kunnat. (Urakka-asiakirjat.)

Yhtiön liikevaihto vuonna 2007 oli noin 15,9 miljoonaa euroa. Yhtiön toimitusjohtajana ja hallituksen puheenjohtajana toimii diplomi-insinööri Sami Rantala. (Urakka-asiakirjat.)

Tiehallinnon siltaurakoitsijaluokituksessa Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy kuuluu luokkaan R1 suuret ja erittäin vaativat siltaurakat. Sillankorjausurakoitsijoiden luokituksessa yhtiö kuuluu niin ikään luokkaan K1. (Urakka-asiakirjat.)

Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy:n toiminnan perusta on kokenut, hyvin koulutettu ja osaava henkilökunta, jonka rungon muodostavat itsenäisesti toimivat työmaapäälliköt. Periaatteena on tuottaa tehokasta, edullista ja laadukasta palvelua hyvässä yhteistoiminnassa tilaajaan, suunnittelijoiden sekä muiden yhteistyökumppaneiden kanssa. (Urakka-asiakirjat.)

Aliurakoitsijoiden kanssa pyritään toimimaan hyvässä ja pitkäjänteisessä yhteistoiminnassa. Osa alihankkijoista on kuulunut yhteistyökumppaneihin jo yli 30 vuotta. Aliurakoitsijoilta edellytetään tinkimätöntä velvollisuuksien täyttämistä, olivatpa sitten kyseessä laadunhallinta, aikataulukysymykset tai yhteiskunnalliset velvoitteet. (Urakka-asiakirjat.)



Yhtiön laatujärjestelmän kehitystyö on alkanut vuonna 1990, ja ensimmäiset LVR - siltaurakat toteutettiin jo vuonna 1991. Tämän jälkeen yhtiö on ollut aktiivisesti mukana kehittämässä LVR - siltaurakointia lukuisissa urakoissa. Yhtiön laatujärjestelmä auditoitiin Tielaitoksen toimesta ensimmäisen kerran vuonna 1994. Tämän jälkeen seuranta - auditointeja on tehty useita kertoja. Tilaajilta systemaattisesti kerätty palaute on ollut yleisesti positiivista. (Urakka-asiakirjat.)

Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy:llä on laaja kokemus siltojen ja niihin liittyvien väylien rakentamisesta ST - menetelmällä. Rakentamisen laatu RALA ry myönsi 24.5.2006 Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy:lle yritystasoisien toimintatapojen hyväksyntätodistuksen nro 52.

Hyväksyntätodistus sisältää toimialoina sillanrakennuksen lisäksi sillankorjauksen sekä sillanrakentamiseen liittyvät pohjarakenteet ja tienrakentamisen. RALA: n pätevyystodistus Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy:lle myönnettiin järjestysnumerolla 23. (Urakka-asiakirjat.)

1.3 Hankkeen kuvaus

Halikon silta sijaitsee maantiellä 110 ja ylittää Halikonjoen Halikossa lähellä Salon kaupungin ja Halikon kunnan välistä rajaa.

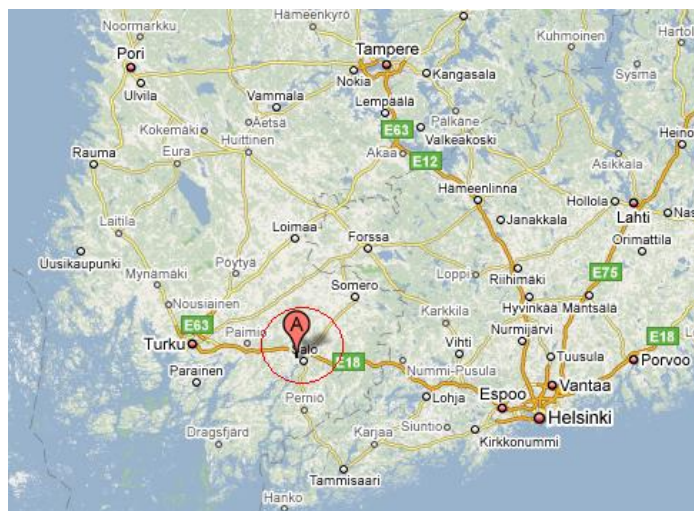
Rakentamishankkeen tarkoituksena on korvata vanha, huonokuntoinen silta uudella. Hankkeesta on tehty toimenpideselvityksiä vuosina 2004 ja 2005. Vuonna 2006 tehdyn toimenpidepäätöksen mukaan uusi silta päätettiin rakentaa olemassa olevan sillan paikalle. Rakennustyön ajaksi yleiselle liikenteelle rakennetaan kiertotie ja varasilta nykyisen sillan pohjoispuolelle. (Urakka-asiakirjat.)

Rakennuspaikan maaperä on vanhaa merenpohjaa, ja näin ollen sen stabiliteetti on pohjatutkimusten ja yleisen olemuksensa perusteella heikko. Sillan korkeus maan pinnasta ja maapohjan geotekniset olosuhteet sekä moottoritie 110:n liikenne asettavat rakennustyölle erityisvaatimuksia.

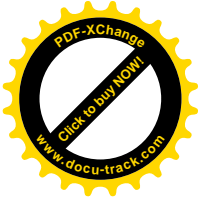
Rakennuspaikalla jouduttiin paaluttamaan kiertotie, työsilta sekä uusi silta. Paaluja oli paljon, ja ne jouduttiin lyömään syvään kohteen maantieteellisen sijainnin sekä kallion pinnan syvyyden vuoksi. Tärinää aiheutti paalutuksen lisäksi myös rakennuspaikan vieressä kulkeva liikenne. Rakennuspaikan läheisyydessä on myös taloja, jotka joutuivat tärinän vaikutukselle alttiiksi. Nämä seikat tekevät kohteesta haastavan. Tärinän vaikutukset olivat tarkkailun alla koko rakennushankkeen ajan ja ympäristövaikutuksia seurattiin tarkasti.

Joessa virtaus on vähäistä, ja veneliikennettä ei ole juuri lainkaan, mikä helpottaa työn suorittamista. Vedenpinnan korkeuteen vaikuttaa lähellä oleva meri, ja joen virtaussuunta voi vaihdella vedenpinnan korkeuden muutoksien johdosta. (Urakka-asiakirjat.)

Uusi silta tulee olemaan leveämpi ja 11 metriä pidempi kuin vanha silta, joka puretaan ennen uuden sillan rakentamista. Maantien 110 eteläpuolella kulkee tiensuuntaisesti erillinen silta kevyelle liikenteelle. Lisäksi sillan Salon puoleisessa päässä maantien pohjoispuolella on erillinen kevyen liikenteen väylä, joka yhdistyy eteläpuolella olevaan kevyen liikenteen väylään nykyisen sillan alitse. (Urakka-asiakirjat.) Siltapaikan sijainti näkyy kuviossa 1.



Kuvio 1. Siltapaikan sijainti



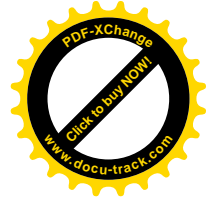
2. TÄRINÄ MAAPERÄSSÄ

2.1 Yleistä

Rakentamisesta johtuva tärinä asutussa ympäristössä koetaan ongelmana. Yhtenä syynä voidaan pitää sitä, että rakennetaan aina vain lähempänä asutusta tilan puutteen vuoksi. Myös ihmisten asenteissa on tapahtunut muutosta. Häiriötöntä ympäristöä pidetään itsestään selvänä, ja sitä osataan myös vaatia. Kuitenkin tulevaisuudessa joudutaan rakentamaan enemmän lähellä ihmisiä ja olemassa olevia rakennuksia yhä tiivistyvän yhdyskuntarakenteen vuoksi, joten tärinähaittojen merkitys korostuu. (Leppänen 2008, 9.)

Tärinää aiheuttavia työvaiheita suunniteltaessa ja toteutettaessa ovat niiden vaikutukset ympäristöön, rakenteilla oleviin rakenteisiin ja valmiisiin rakennuksiin otettava tarkasti huomioon sekä työtä tehtäessä että sen jälkeen. Suomen rakentamismääräyskokoelman määräysten mukaan on esimerkiksi selvitettävä tärinän vaikutusalueella olevien rakennusten kunto, selvitettävä tärinää aiheuttavien työvaiheiden vaikutus ympäristöön ja estettävä vaara- ja haittavaikutukset sekä suoritettava tarvittavat katselmukset ja suunniteltava tarkkailutoimenpiteet. Tärinää aiheuttavien työvaiheiden ympäristövaikutuksia ovat mm. (Törnqvist 1986, 1.)

- melu
- tärinä
- maan syrjäytyminen
- huokosvedenpaineen aleneminen ja kantavuuden heikentyminen
- muodonmuutokset
- siirtymät
- sortumat
- rakenne- ja laitevauriot
- ihmisten häiriintyminen. (Törnqvist 1986, 1.)



Tärinän realistinen arviointi on rakennushankkeen näkökulmasta hyvin tärkeää. Tärinä voi vaurioittaa rakenteilla olevia, sekä jo olemassa olevia rakenteita. Erikoislaitteet esimerkiksi sairaalassa tai vastaavassa laitoksessa voivat olla hyvinkin herkkiä tärinälle, mikä aiheuttaa lisäselvityksiä tärinän arvioinnissa. (Leppänen 2008, 9.)

Ihmiset tuntevat rakentamisesta johtuvan, esimerkiksi räjäytystyön, paalutuksen tai tiivistyksen aiheuttaman tärinän helposti. Tärinä tunnetaan epämiellyttävänä jo ennen kuin se aiheuttaa vaurioita rakenteisiin. Tämän takia tärinä koetaan hyvinkin pahana asiana, ja se usein johtaa väärinkäsityksiin ja riitatilanteisiin. (Leppänen 2008, 9.)

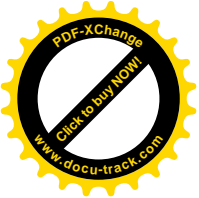
Tärinän huomioimatta jättäminen tai tärinätason arvioiminen todellista pienemmäksi voi aiheuttaa vaurioita rakenteissa tai mahdollisesti saada aikaan työn keskeytymisen. Toisaalta jos tärinän mahdollisia haittavaikutuksia arvioi liian suureksi, aiheutuu lisäkustannuksia ja aikatauluongelmia. (Leppänen 2008, 9)

2.2 Paalutustärinä

Paalutustärinän vaikutuksia on sekä suoria että epäsuoria. Suoria vaikutuksia ovat mm. siirtymät sekä muodonmuutokset, kun taas epäsuoriksi vaikutuksiksi voidaan katsoa olevan tiivistyminen ja maapohjan ominaisuuksien muutokset esim. lujuus. (Törnqvist 1986, 2.)

Törnqvist (1986, 2) toteaa, että paalutustärinän epäsuoria vaikutuksia maahan on vaikea erottaa paalun syrjäyttämän maamassan aikaansaamista suorista vaikutuksista. Paalutustärinän suoran vaikutuksen suuruuteen vaikuttavat monet tekijät. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi

- paalutustyö (heilahdusamplitudi, järkäleen koko ym.)
- maapohjan ominaisuudet (kerroksellisuus, pvp:n sijainti ym.)
- aaltoliikkeen eteneminen maassa (materiaali- ja etäisyysvaimennus ym.)

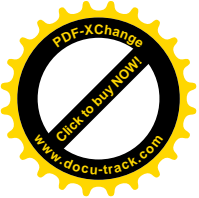


Nämä ominaisuudet ja niiden vaikutus on matemaattisesti erittäin hankala ottaa huomioon. Tämän takia tärinää arvioidaan kokemuseräisiin kaavoihin perustuen ja vertaamalla sitä kirjallisuudesta saataviin heilahdusnopeuden raja-arvoihin. Jos raja-arvot ylittyvät, on vaihdettava työmenetelmää tai perustamistapa tai tutkittava kohdetta tarkemmin esim. koepaalutuksella ja tärinämittauksella. Perustamistapa vaihdetaan vain, jos muuta keinoa ei ole. Tässäkin tapauksessa pitäisi vaihtoehtoinen perustamistapa jo olla suunniteltu, jotta työ ei keskeytyisi ja kustannukset pysyisivät hallinnassa.(Törnqvist 1986, 2)

Paalutustärinän yhteydessä yleensä rakenteiden vaurioitumisen ja maan vakavuuden kannalta tärkein seurattava suure on heilahdusnopeus. Kun arvioidaan heilahdusnopeuksia ja tarkastellaan rakenteiden vaurioitumista, oletetaan, että rakennukseen siirtyvä tärinäamplitudi on sama kuin amplitudi maan pinnalla rakennuksen vieressä. Törnqvistin (1986) mukaan todellisuudessa rakennukseen siirtyvä tärinäamplitudi on kuitenkin vain 5 - 60 % siitä arvosta, mikä on amplitudi maan pinnalla. Rakennusten suurimmat sallitut pystysuorat heilahdusnopeudet käyvät ilmi taulukosta 1

Taulukko 1. Rakennusten suurimpia sallittuja pystysuoria heilahdusnopeuksia

Rakennuksen luokka	Rakennuksen laatu	Suurin pystysuora heilahdusnopeus (mm/s)
1	Vanhat historialliset rakennukset	2
2	Halkeilleet rakennukset, tiilirakennukset	5
3	Hyväkuntoiset vauriottomat rakennukset	10
4	Hyvin vahvat rakennukset	10-40



Kokemusperäinen maan heilahdusnopeutta kuvaava kaava on muotoa:

$$V = 1,5 * \sqrt{\frac{W}{r}} \quad (1)$$

Jossa,

V= pystysuuntainen heilahdusnopeuden maksimiarvo mm/s

W= lyöntienergia

r= etäisyys paalutuskohteesta

Paalutustärinän leviämiseen vaikuttaa useita tekijöitä. Nämä tekijät ja niiden suhteet on otettu huomioon kaavan 1 yleisemmässä muodossa

$$V = k * \frac{W^{0,5}}{r^{m*}} * e^{-ar} \quad (2)$$

Kerroin k kuvaa lyöntienergian siirtymistä paaluun, jolloin se on riippuvainen paalun impedanssista Z. Paalun impedanssi saadaan kaavalla 3. Kaavassa 2 on otettu huomioon tärinän sekä geometrinen että materiaalivaimennus.

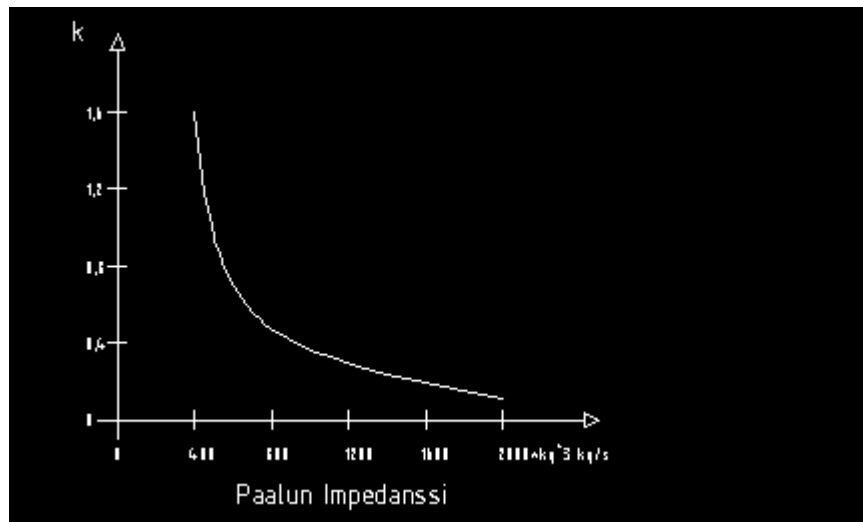
$$Z = \frac{EA}{c} \quad (3)$$

Jossa,

E= kimmokerroin

A= paalun poikkileikkausala

c=puristusaallon etenemisnopeus paalussa



Kuvio 2. Paalun impedanssin ja kertoimen k välinen riippuvuus.

2.3 Tärinän liikkuminen maaperässä

Hanna Leppänen (2008, 11) on diplomityössään määritellyt tärinän seuraavasti: ”tärinä on liikettä, jossa energia kulkee aallon muodossa väliainetta pitkin ilman, että väliaine itsessään siirtyy. Väliaineen partikkelit liikkuvat tasapainoasemansa ympärillä, ja palaavat takaisin tasapainoasemaansa, kun aaltoliike on mennyt ohi.

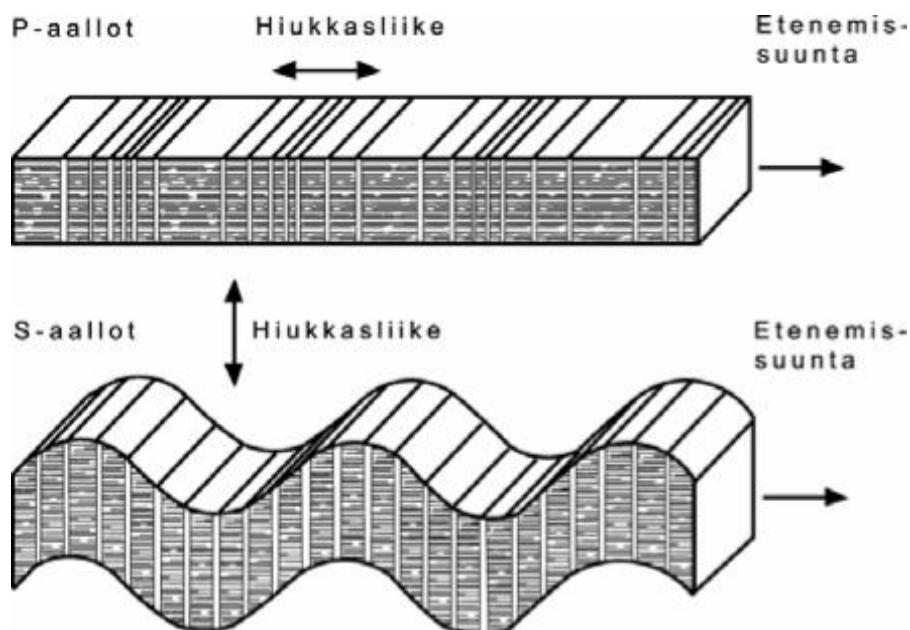
Tärinä ilmenee kiinteissä aineissa värähtelynä ja liikkuu aaltomaisesti. Kuviossa 1. näkyy runkoaaltojen aaltoliike. Väliaineessa kulkevat aallot voidaan jakaa kahteen ryhmään: runko- ja pinta-aaltoihin. Runkoaaltoihin kuuluvat puristusaallot sekä leikkausaallot ja pinta-aaltoihin kuuluvat Rayleigh - aallot. (Leppänen 2008, 15)

Puristusaalto on pituussuuntainen aalto, jossa myös partikkelit liikkuvat pituussuuntaisesti. Puristusaalto etenee kolmiulotteisesti, ja edetessään se aiheuttaa väliaineeseen sekä puristusta että vetoa, ja väliaineessa tapahtuu tämän takia tilavuudenmuutoksia. (Leppänen 2008, 15)

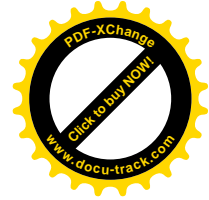
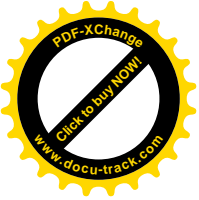
Leikkausaalloissa partikkelit liikkuvat kohtisuoraan aallon etenemissuuntaa vastaan. Leikkausaalto etenee myös kolmiulotteisesti. (Leppänen 2008, 15)

Rayleigh -aalto on pinta-aalto, ja niitä syntyy, kun runkoaallot kohtaavat rajapinnan ja taittuvat siinä. Rayleigh -aalto aiheuttaa edetessään partikkeleihin ellipsin muotoisen liikkeen. (Leppänen 2008, 15.)

Maanpäällisestä tärinälähteestä johtuvaa aaltoenergian leviämisen prosentuaalista jakautumista Rayleigh -aaltoihin, leikkausaaltoihin ja puristusaaltoihin on arvioitu usealla eri tavalla. Arviot ovat samansuuntaiset mutta hieman eri lukuarvoilla. Esimerkiksi Vuolion (1985) mukaan energia jakautuu puristusaalloille 5 - 20 %, leikkausaalloille 15–50% ja Rayleigh -aaltoille 45–80% kun taas Miller ja Pursey (1955) arvioivat vastaavat lukemat olevan puristusaalloille 7 %, leikkausaalloille 26 % ja Rayleigh -aaltoille 67 %. Energian jakautuminen kuitenkin vaihtelee olosuhteiden mukaan. (Leppänen 2008, 15)



Kuva 3. Runkoaallot eli P- ja S-aallot elastisena aaltoliikkeenä



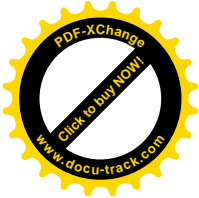
2.4 Tärinän vaimeneminen

Tärinäaaltojen amplitudi pienenee, kun etäisyys tärinälähteestä kasvaa. Tärinäaaltojen vaimenemista on kahdenlaista tyyppiä: materiaalivaimeneminen sekä geometrinen vaimeneminen. (Leppänen 2008, 18)

Tärinää ja sen vaikutuksia tutkittaessa oletetaan väliaineen olevan elastista, vaikka todellisuudessa se ei käyttäydy täysin elastisesti. Maassa kulkeva aaltoenergia muuttuu edetessään lämmöksi kitkan ja koheesion vaikutuksesta. Tätä ilmiötä kutsutaan materiaalivaimentumiseksi. (Leppänen 2008, 19)

Maassa vallitseva jännitys-muodonmuutostila vaikuttaa suuresti materiaalivaimennuksen suuruuteen. Materiaalivaimennus on vähäistä, kun maan muodonmuutokset ovat elastisia ja jännitys-muodonmuutostila on lineaarista. Kun muodonmuutokset ovat tietyn suuruisia, maaperä ei käyttäydy enää elastisesti vaan elasto - plastisesti, jolloin syntyy pysyviä muodonmuutoksia ja myös materiaalivaimennus kasvaa. Kun muodonmuutostasot tästä vielä kasvavat, syntyy suuria muodonmuutoksia ilman, että jännitystila muuttuu. Tällaisia ovat liukumät ja maan häiriintyminen. Paalun ja maan välisessä rajapinnassa siirtymät ovat suuria, minkä takia tärinän siirtyminen maahan rajoittuu suuren materiaalivaimennuksen takia (Leppänen 2008, 20)

Geometrinen vaimennus tarkoittaa sitä, että tärinäaaltojen loitontuessa tärinälähteestä tärinäaaltojen tärinäenergia leviää koko ajan suurenevalle alueelle, jolloin tärinäaaltojen energia pienenee. Koska aallot etenevät erilailla väliaineessa, on geometrisen vaimennuksen suuruus hyvin erilainen eri aaltojen kesken. Runkoaaltojen edetessä puolipallon muodossa niiden geometrinen vaimeneminen on siten suurempi kuin pinta-aalloilla, jotka etenevät väliaineen pinnassa. (Leppänen 2008, 19)



Materiaalivaimennuksen osuus on yleensä hyvin pieni verrattuna geometriseen vaimennukseen, ja sen suuruutta on vaikea arvioida, joten sen osuus jätetään yleensä huomioimatta. (Leppänen 2008, 24)

Rayleigh -aallot (pinta-aallot) ovat voimakkaampia ja vaimenevat hitaammin kuin runkoaallot. Törnqvistin (1986, 5) mukaan n. 70 % tärinäaalloista muodostuu pinta-aalloista. Näiden seikkojen takia pinta-aallot ovat määrääviä ja yleensä riittää, että tarkastellaan pelkästään pinta-aaltoja.

Pinta-aaltoliikkeen vaimeneminen tapahtuu seuraavan kaavan mukaan

$$A_r = A_1 \sqrt{\left(\frac{R_1}{R}\right)^{-\alpha(R_1 - R_2)}} \quad (4)$$

Jossa,

A_r, A_1 = Pystysuuntaisia amplitudeja

R_1, R_2 = Etäisyys tärinälähteestä

α = Absorptiokerroin

Absorptiokerroin alfa on riippuvainen pohjasuhteista ja vaihtelee yleensä 0,04–0,12 taulukon mukaisesti.

Taulukko 2. Suuntaa antavat arvot absorptiokertoimelle eri maalajeissa

Maalaji	Absorptiokerroin α ,
Veden kyllästämät löyhät maat	0,01-0,04
Keskilujat, osittain veden kyllästämät maat	0,04-0,06
Lujat, ylikonsolidoituneet maat	0,07-0,12



3. PAALUTUS

3.1 Yleistä

Paalutuksella tarkoitetaan pohjarakennustekniikkaa, jolla huonosti kantava maaperä saadaan rakennuskelpoiseksi. Paalujen avulla saadaan vietyä ylärakenteilta tulevat kuormat huonosti kantavien maakerrosten läpi kantaviin maakerroksiin. (Kulmala 2008)

Paalutus on usein tärkeä rakennusvaihe maa- ja pohjarakennuksessa ja eritoten siltatyömailla. Paalutus työvaiheena on melko vaativa ja laaja esiselvitystarpeensa takia. Suunnitteluvaiheessa tehtävistä mittauksista, kairauksista sekä pohjatutkimuksista saadaan tietoa myös paalutustyön suorittamiseen ja kaluston valintaan. Tämä korostuu etenkin vaativissa kohteissa joihin myös Halikon siltaurakan voidaan katsoa kuuluvan.

Silloin kun maanvarainen perustaminen ei ole mahdollista maapohjan heikon kantavuuden, liian suurien painumien tai kantavan maan ollessa syvällä ja yläpuolisten maakerroksien ollessa pehmeitä, tulee rakenteiden perustaminen paaluille kysymykseen. Mikäli maapohjan vahvistaminen ei tule kysymykseen esim. kustannussyistä, on paaluille perustaminen yleensä ainoa vaihtoehto. Hyvin usein maapohjan vahvistamista ei ole mahdollista suorittaa kustannustehokkaasti, joten kuormat viedään kantavaan maahan tai kallioon paaluilla. (RIL 166 Pohjarakenteet 1986, 161)

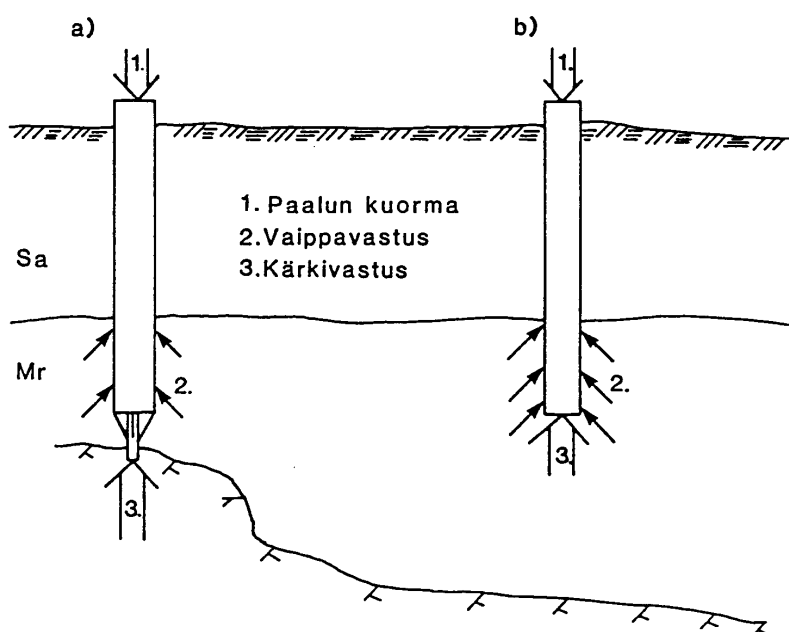
Paalutuksesta aiheutuva värinä on maan liikettä joka koostuu eri aaltotyypeistä ja niiden heijastumisista sekä taittumisista. Värinän suuruus, liikkuminen maaperässä ja sen vaimeneminen riippuu maaperän ominaisuuksista, paalutuskalustosta ja asentamistavasta. Tässä kappaleessa tutkitaan erilaisia paaluja, asentamistapoja sekä paalutuksesta johtuvia ongelmia värinän ym. ympäristövaikutuksien kannalta.

Paalut jaetaan toimintatapansa perusteella kolmeen luokkaan:

- tukipaalut
- kitkapaalut
- koheesiopaalut (Tielaitos, teräsputkipaalut 1999, 14.)

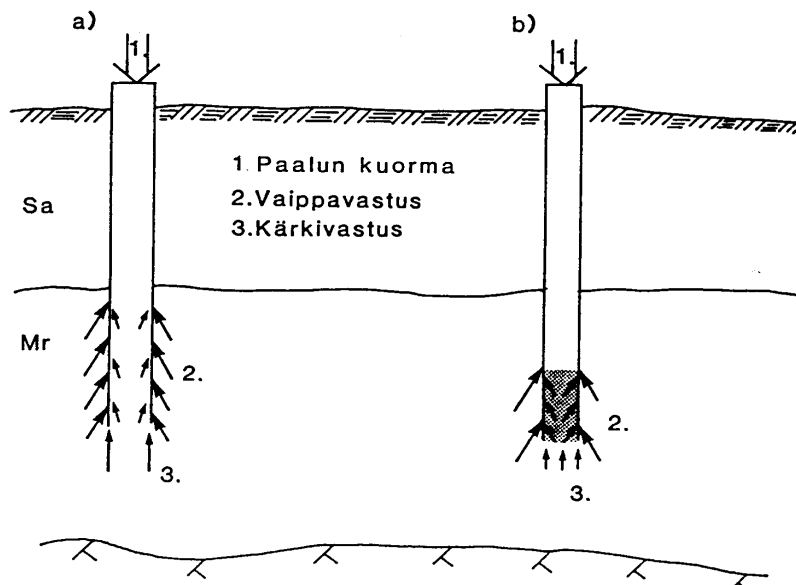
Tukipaalut lyödään kallioon tai kantavaan maahan, ja kuormat välittyvät kantavaan pohjaan pääasiassa paalun kärjen kautta. Tukipaaluperustuksia käytettäessä on selvitettävä maakerrosten ja pohjakerroksen rakenne.

Kallion sijainti ja muoto on erityisesti selvitettävä kun savi / siltti ulottuvat kallion pintaan, kallion pinta on viettävä tai jos kallion päällä oleva kitkamaakerros on löyhä tai ohut. (Tielaitos, teräsputkipaalut 1999, 14)



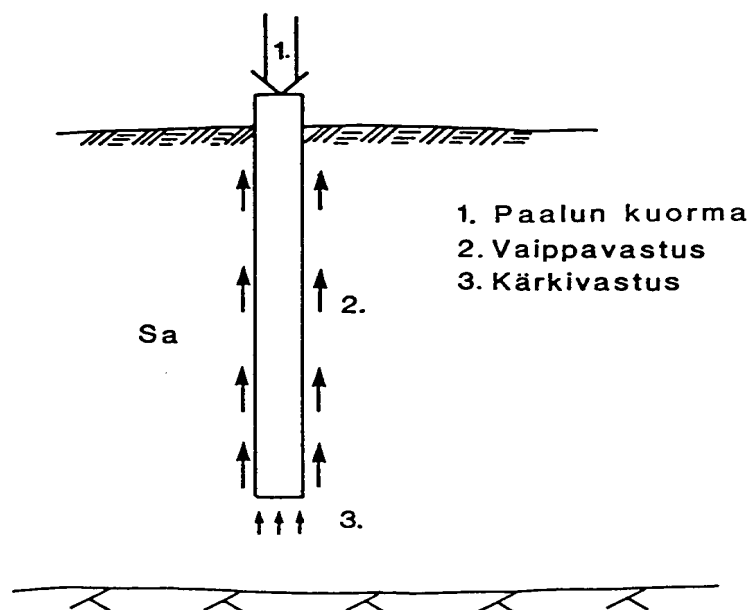
Kuvio 4. Tukipaalun toimintatapa

Kitkapaalut siirtävät suurimman osan kuormasta vaippavastuksen välityksellä maakerrokseen. Osa kuormasta välittyy kärkivastuksen kautta. Kitkapaaluja tulee käyttää silloin, kun kallion päällä on karkearakeinen maakerros tai paksu moreenikerros. (Tielaitos, teräsputkipaalut 1999, 14)



Kuvio 5. Kitkapaalun toimintatapa

Koheesiopaalu siirtää paalun kuorman vaippapinnalla syntyvän adheesio- välityksellä. Kärkivastusta ei juuri ole. Koheesiopaaluille perustettu rakenne yleensä painuu ajan myötä, koska paalut kuormittavat kokoonpainuvia maakerroksia. Koheesiopaalujen käyttö tulee pysyvissä rakenteissa kysymykseen ainoastaan silloin, kun koheesiomaakerros on erityisen paksu tai kova. (Tielaitos teräsputkipaalut 1999, 14)



Kuvio 6. Koheesiopaalun toimintatapa

Asentamistapansa mukaan paalut voidaan jakaa:

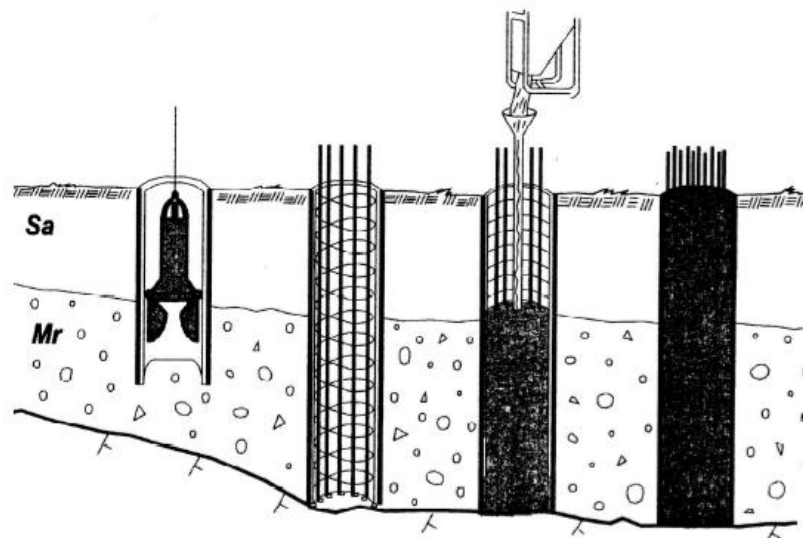
- lyöntipaaluihin
- erikoispaaluihin (Kulmala 2008)

Materiaalina käytetään betonia, terästä tai puuta, joista viimeisintä ei enää juurikaan käytetä edes pienissä kohteissa vaikkakin niitä voidaan joissain tapauksissa käyttää työnaikaisissa rakenteissa joskus. (Tielaitos, teräsputkipaalut 1999, 14) Erilaisia suurpaalutyyppjä on

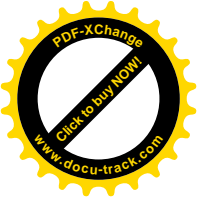
- kaivinpaalu
- frankipaalu
- vibrex-paalu (Kulmala 2008)

3.2 Kaivinpaalut

Kaivinpaalu tehdään nimensä mukaisesti siten, että työputki lyödään tai painetaan maahan ja maa-aines kaivetaan putken sisältä pois. Putken kohdalle sattuvat kivet ja lohkareet rikotaan meislaamalla, porauksilla tai räjäyttämällä. Kun kova pohja tai kallio on saavutettu, putki raudoitetaan ja paalu valetaan samalla, kun työputki vedetään pois. (RIL 166 Pohjarakenteet 1986, 173)



Kuvio 7. Työvaiheet kaivinpaalua tehtäessä



Kaivinpaalujen teko ei yleensä aiheuta suurta tärinää ympäristöön kivettömässä maassa, koska maa poistetaan työputkesta sitä mukaan, kun työ etenee. Tämä ominaisuus on hyvä ottaa huomioon, kun rakennuspaikan lähetyvillä on tärinälle herkkiä kohteita tai jos tärinästä koituu maaperän takia ongelmia. Kaivinpaalujen hyviä puolia on myös se, että työputkea asennettaessa maan sivusiirtymiä ei synny. (RIL 166 Pohjarakenteet 1986, 173.)

Kaivinpaalua käytetään silloin, kun on tarve siirtää todella isoja kuormia kallioon tai moreeniin eikä esim. suurella teräsputkipaalulla kyetä luotettavasti tunkeutumaan kallioon. (RIL 95 Pohjarakennus, 265.)

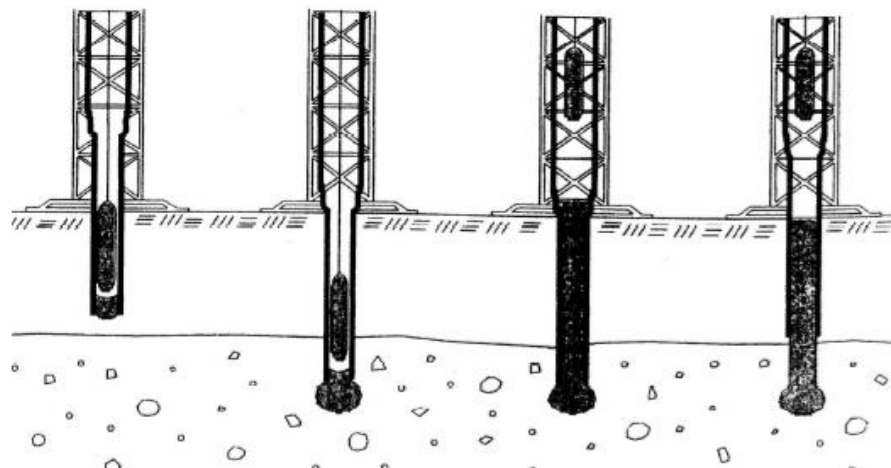
3.3 Frankipaalut

Frankipaaluja on kahta päätyyppiä

- putki nostetaan pois sitä mukaa, kun valu edistyy
- putki jätetään maahan ja se toimii muottina. (Kulmala 2008.)

Frankipaalut tehdään käyttäen työputkea, jonka alapäähän lasketaan hyvin sementtipitoista betonia. Betonimassa sullotaan putkessa liikkuvalla järkäleellä tiiviiksi tulpaksi. Työputki uppoaa maan sisään tulppaa lyötäessä, ja tulppa estää veden pääsyn putkeen. Kun kova pohja, kallio tai riittävä syvyys on saavutettu, putkeen lisätään betonia, ja betonitulppa lyödään osittain putken ulkopuolelle, jossa se laajetessaan muodostaa anturan paalulle. (RIL 95 Pohjarakennus, 265.)

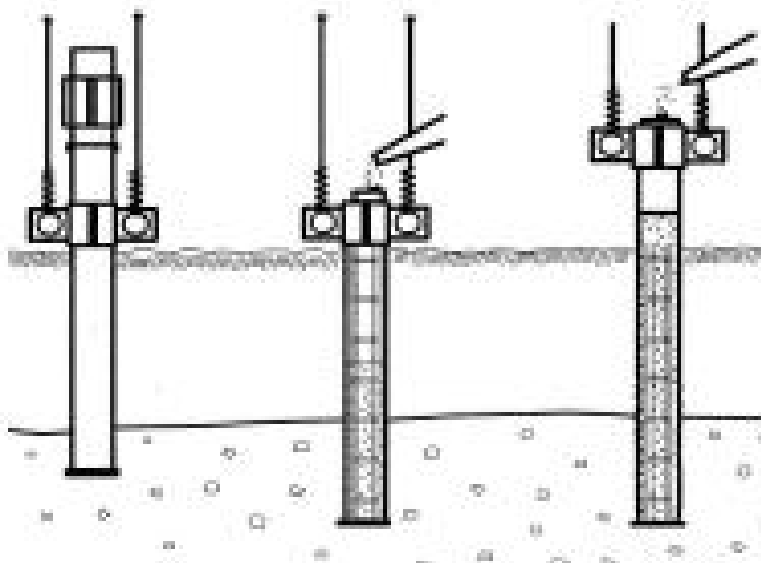
Raudoitus asennetaan sitten, kun antura on saatu halutun kokoiseksi. Putkeen lisätään betonia ja sullotaan järkäleellä samalla työputkea nostaen. Valutyö on tärkeää saada tehtyä kuivana. Jos putkeen pääsee vettä, paalutus on aloitettava alusta uudelleen. (RIL 95 Pohjarakennus, 265.)



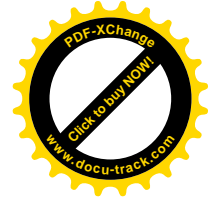
Kuva 8. Työvaiheet tehtäessä Frankipaalua

3.4 Vibrex-paalu

Teräksinen työputki, jonka alapäässä on vesitiivis umpikärki, lyödään maahan. Paalun umpikärki jää maahan anturaksi. Tavoitetason saavuttamisen jälkeen lasketaan raudoituselementti putkeen ja betonoidaan putki täyteen. Työputki nostetaan täryttämällä ylös betonoinnin yhteydessä. Paalun käyttökohteet ovat hyvin samanlaiset kuin Frankipaaluillakin. (RIL 212 Suurpaalutusohje 2001, 12 - 13.)



Kuva 9. Työvaiheet tehtäessä Vibrex-Paalua



3.5 Teräsbetonipaalut

Nykyään teräsbetonipaalut valmistetaan tehtaissa. Paalujen valmistus täytyy olla tarkastettua tai tuotteella pitää olla CE – merkintä. Paalujen teräkset voivat olla jännitettyjä tai jännittämättömiä. Jännityksellä pyritään estämään paalujen halkeilu työn tai kuljetuksen aikana.

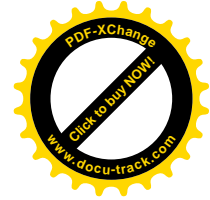
Betoniteräspaalujen poikkileikkauskoot ovat yleensä $250 * 250 \text{ mm}^2 - 300 * 300 \text{ mm}^2$ ja varastopituudet ovat 2 - 16 metriä. (RIL 223 - 2005, 29)

Paalujen valmistuksessa käytetään betonia, jonka nimellislujuus on paalutusluokasta riippuen K45 - K50. Paalutusluokassa 1 ja esimerkiksi kalliokärkeä käytettäessä nimellislujouden tulee olla K50. Paalua lyöessä betonin lujuusvaatimus on nimellislujuusvaatimus. (RIL 223 - 2005, 30)

Betoniteräksillä täytyy olla riittävä lujuus ja sitkeys rasiin nähden. (RIL 223 - 2005, 30)

Betonin korroosioriski arvioidaan tapauskohtaisesti. Korroosiota aiheuttaa esimerkiksi happamat jätevedet, suolainen merivesi, rikkipitoiset maakerrokset. Olosuhteista saadaan tietoa pohjatutkimuksen yhteydessä otetuista näytteistä. Paalujen kestävyyttä voidaan lisätä parantamalla betonin vesitiivyyttä. Korroosiota voi torjua myös erikoismenteillä tai esim. bitumisivelyllä. (RIL 223 2005, 27)

Betonipaalut voidaan jatkaa. Teräsbetonipaalujen jatkoksina voidaan käyttää vain jäykkäjatkoksia. Jatkos tarkistetaan, ja LPO: n mukaisessa paalussa käytettävänjatkoksen valmistuksen tarkastaa kolmas osapuoli. Jatkoksen poikkileikkaus on oltava sama, kuin paalun. Jatkospintojen on oltava tasaiset ja sileät ja jatkokset tulee olla helposti tarkastettavissa. (RIL 223 - 2005, 38)



3.6 Teräsputkipaalut

Suurten teräsputkipaalujen edut verrattuna teräsbetonipaaluihin tulevat erityisesti esiin

- vaikeissa pohjaolosuhteissa
- vesirakentamisessa (etenkin silloissa)
- paalutettaessa lähellä helposti vaurioituvia rakenteita (Tie- ja vesirakennushallitus sillansuunnittelu, 15)

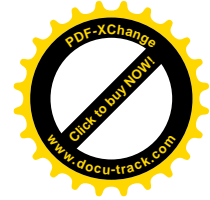
Vesirakentamisessa etuina on paalujen uittomahdollisuus.

Teräsputkipaaluilla on hyvä kestävyys nurjahdusta vastaan, mikä on etuna, jos pehmeät maakerrokset ovat paksuja tai vesisyvyys suuri.

Teräsputkipaaluilla on myös parempi tunkeutuvuus verrattuna teräsbetonipaaluihin. Paalujen jatkaminen on helppoa ja nopeaa. (Tie- ja vesirakennushallitus sillansuunnittelu, 16)

Jos rakentamisen vaikutusalueella on rakennuksia, joiden vaurioitumisherkyys on otettava huomioon, on hyvä käyttää avoimia paaluja. Näin minimoidaan tärinät, siirtymät, maan häiriintymien ja huokosvedenpaineen nousu. Jopa suljetuilla teräsputkipaaluilla maan syrjäytyminen on pienempää kuin betonipaaluilla. (Tie- ja vesirakennushallitus sillansuunnittelu, 16)

Teräsmaalujen korroosio pitää ottaa huomioon kantavuutta arvioitaessa. Korroosionopeus tulee arvioida tapauskohtaisesti olosuhteiden mukaan. Arvioinnin voi perustaa esim. maaperän ja pohjaveden happamuuteen ja sähkönjohtokykyyn. Mikäli voidaan todeta, että suurempaa syöpymisvaaraa ei ole, voidaan olettaa syöpymisnopeuden olevan noin 3 mm 50 vuoden aikana. (RIL 95 1974, 230.)



Korroosiota voidaan torjua mm.

- ylimitoituksella
- erikoisteräksillä
- katodisella suojauksella
- erilaisilla pinnoitteilla
- betoniverhoilulla. (Tie- ja vesirakennushallitus sillansuunnittelu 1989, 69)

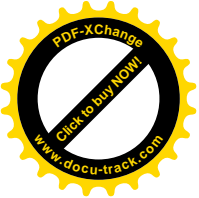
Kalliopintaan tukeutuva teräspaalu varustetaan kovametallipalalla varustetulla kalliokärjellä. Kalliokärki mitoitetaan puristusrasitukselle siten, että kärkikappale ja -tappi kestävät kuormaa vähintään yhtä paljon kuin paalu. (Tie- ja vesirakennushallitus sillansuunnittelu 1989, 69)

3.7 Paalutuksen ympäristövaikutukset

Paalutus aiheuttaa ympäristöhaittoja, joiden on pysyttävä sallituissa rajoissa ja jotka usein vaativat tiukkaa, jatkuvaa valvontaa. Paalutuksesta johtuvia ympäristöhaittoja ovat:

- maanpinnan painuminen, kohoaminen ja siirtyminen
- maakerrosten häiriintyminen
- huokosvedenpaineen kasvu
- tärinä ja melu. (Tielaitos Teräspuutkipaalut 1999, 21.)

Tärinää on jo aikaisemmin käsitelty, joten tässä keskitytään lyhyesti muihin ympäristövaikutuksiin.



Syrjäytyminen

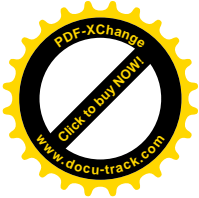
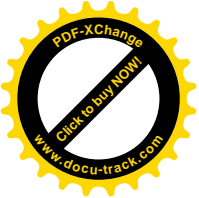
Paalun tunkeutuminen saveen aiheuttaa syrjäytymistä, koska savi tai siltti ei tiivisty. Tämä aiheuttaa maanpinnan kohoamista sekä maan sivusiirtymiä. Sillä voi olla vaikutusta lähellä oleviin rakenteisiin sekä viereisiin paaluihin. Törnqvistin (1986, 18) mukaan maanpinnan nousu vastaa eri tutkimusten perusteella noin 0,3 - 1-kertaista paalun tilavuutta. Kohouma voi esiintyä alueella, joka ulottuu savi tai silttikerroksen syvyyden verran paalutuksen ulkopuolelle. Kun kerrokset ovat paksut, vaikutusalue on suuri. Näin ollen paalutus kannattaa alkaa riskialttiimmasta kohdasta poispäin. Maanpinnan kohoamista sekä maan ja rakenteiden sivusiirtymistä tarkkaillaan vaaituksilla.

Huokosvedenpaineen kasvu

Paalutustyö aiheuttaa maakerrokseen huokosvedenpaineen kasvua, mikä pienentää maapohjan leikkauslujuutta. Rinnealueilla paalutettaessa tulee huokosvedenpainetta seurata ja ottaa se huomioon vakavuuslaskelmissa. Huokosvedenpaineen kasvua voidaan rajoittaa. (Tie- ja vesirakennushallitus sillansuunnittelu 1989, 21.)

- poistamalla maamassaa paalun kohdalta
- varustamalla paalut liuskapystyjillä
- jaksottamalla paalujen lyöntiä tai pidentämällä paalutuksen kestoa. (Tie- ja vesirakennushallitus sillansuunnittelu 1989, 21.)

Näistä vaihtoehdoista paras on luultavasti maamassan poisto etukäteen. Liuskapystyöjitus vie aikaa ja siitä seuraa kustannuksia. Paalutusajan keston pitittäminen sotkee aikataulun, joka johtaa myös lisäkustannuksiin. Maamassan poisto vähentää myös maan kohoamista ja sivusiirtymien syntymistä.



Häiriintyminen

Paalujen lyönti savisiin maihin aiheuttaa maamassan häiriintymistä ja tätä kautta lujouden alentumista. Lujuus palautuu hitaasti ja vain osittain. (Tie- ja vesirakennushallitus sillansuunnittelu 1989, 22.)

Melu

Tiehallinnon julkaisussa Teräsputki-paalut sanotaan seuraavaa ”Paalutuksesta aiheutuvan melun määrittämiseen soveltuvia laskumenetelmiä ei ole käytössä”. Tiloissa, joissa oleskelee työmaalle kuulumattomia henkilöitä, melutaso ei saa ylittää 80 dB. Paalutuslaitteiden aiheuttama melu esitetään taulukossa 3. (Tie- ja vesirakennushallitus sillansuunnittelu 1989, 24.)

Taulukko 3. Erialaisten paalutuslaitteiden aiheuttama melu

Paalutuslaite	Melutaso 10 metäisyydellä (dB)	Arvioitu etäisyys, jolla melu on 80 dB (m)
Pudotusjärkele	90-100	40-160
Täryjunta	90-100	40-160
Diesel- tai hydraulijärkele	100-105	160-320
Franki- Paalutuskone	80-90	10-40

Melutasoa voidaan pienentää melulähteen eristämällä tai iskutyynyjä käyttämällä.



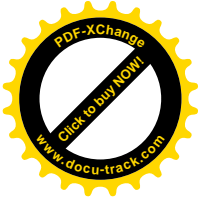
4. LIIKENNETÄRINÄ

Liikennetärinän voi rinnastaa liikennemeluun ympäristöhaittana, joka tulee ottaa huomioon suunniteltaessa uusia rakennuksia liikenneväylien läheisyyteen tai rakennettaessa uusia väyliä vanhojen rakennuksien läheisyyteen. Yhdyskuntarakenteen tiivistyminen houkuttelee rakentamaan asuntoja myös sellaisille alueille, esimerkiksi pehmeille savimaille, joilla tärinähaitat korostuvat. Myös raskaan liikenteen määrän ja akselipainojen kasvu lisäävät tärinäongelmia. Samanaikaisesti asukkaiden ja viranomaisten vaatimukset asuinympäristön laadulle ovat lisääntyneet. (VTT Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa.)

Liikennetärinä syntyy ajoväylän epätasaisuudesta tai väylän pintaan ajoneuvosta aiheutuvista muodonmuutoksista. Tiellä liikkuvan ajoneuvon ja tien alla olevan maaperän vuorovaikutuksen takia maaperä alkaa värähdellä. Ilmiötä kutsutaan liikennetärinäksi. Rakennuksen kohdalla värähtely siirtyy edelleen perustuksiin, mikä voi johtaa pahimmassa tapauksessa jopa rakenteiden vaurioon. Pääasiassa liikennetärinä ei kuitenkaan johda rakennevaurioihin, vaan ihmiset tuntevat sen asumisviihtyvyyden alenemisena. (VTT Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa.)

Liikenteestä aiheutuvan herätteen suuruuteen vaikuttavat mm.

- ajoneuvon ominaisuudet
- väylän ominaisuudet
- ajonopeus. (VTT suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa.)



Tärinän leviämiseen maaperässä vaikuttavat mm.

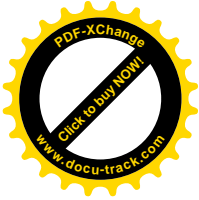
- maaperän laatu
- etäisyydet
- maaperän kerroksellisuus. (VTT Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa.)

Tärinän siirtymiseen rakennuksessa vaikuttavat mm.

- perustamistapa
- rakennuksen mitat
- rungon resonanssi-ilmiö
- välipohjan ja muiden rakenneosien resonanssi-ilmiö. (VTT Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa.)

Lopulta asukas kokee rakenneosien tärinän yleensä

- häiritsevinä kehon tuntemuksina
- rakennusosista ja esineistä välittyvinä ääminä
- mahdollisena pelkona rakenteiden vaurioitumisesta. (Törnqvist & Talja, Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa 2006, 10.)



5. ESIMERKKIKOHDE

5.1 Yleistä

Vanha silta on valmistunut vuonna 1952. Se on todettu toimenpideselvityksessä vuonna 2004 rakenteiltaan ja perusteiltaan niin heikoksi, etteivät sen korjaaminen ja vahventaminen ole perusteltua taloudellisesti ja teknisesti. Sillan hyödyllinen leveys on liian kapea verrattuna maantien 110 ajoradan pientareiden leveyteen. Sillan rakenteellisia puutteita eikä sen kapeutta pystytä taloudellisesti korjaamaan muuten kuin rakentamalla uusi silta. (Urakka-asiakirjat.)

Vuonna 2005 toimenpideselvityksessä selvitettiin edellytyksiä rakentaa uusi silta vanhan sillan pohjoispuolelle. Toimenpidepäätöksessä se päätettiin rakentaa toimenpideselvityksen mukaisesti. Vuonna 2006 tehdyssä toimenpideselvityksessä toimenpidepäätöstä muutettiin siten, että uusi silta rakennetaan vanhan sillan paikalle. Etuna tässä on, ettei tien linjausta tarvitse muuttaa. Siitä taas johtuu, että melusuojausta ei tarvitse rakentaa ja että silta voidaan rakentaa 10 metriä lyhyempänä. Myös kevyemmät pohjanvahvistustoimenpiteet voidaan laskea eduksi. (Urakka-asiakirjat.)

5.2 Siltapaikka

Siltapaikka sijaitsee maantiellä 110 Halikon kunnassa. Halikonjoen laakso on vuonna 1995 todettu valtakunnallisesti arvokkaaksi maisema-alueeksi, joka edustaa lounaisen viljelysseudun kulttuurimaisemaa. Halikonjoki kulkee laajojen viljelysalueiden läpi. Peltoalueita reunustavat metsäiset mäet. Alue on vanhaa merenpohjaa, ja näin ollen alueella on paksuja savikerrostumia. Siltapaikan länsipuolella rakennuskohteen vaikutuspiirissä on kolme kiinteistöä noin 150 metrin etäisyydellä. (Urakka-asiakirjat.)

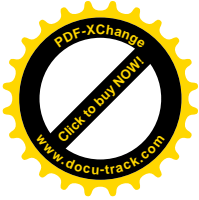
Yleiskaavassa siltapaikan läntinen puoli on merkitty maa- ja metsätalousvaltaisena alueena. Itäpuolinen alue taas on merkitty rakennus- ja kulttuurihistoriallisesti merkittäväksi alueeksi. Lisäksi itäpuolella sijaitsee koivukuja, joka on yleiskaavan mukaan suojeltu luontokohde. Sillan sijainti arvokkaalla maisema-alueella on otettu huomioon uuden sillan suunnittelussa sekä rakennusvaiheessa. (Urakka-asiakirjat.)

5.3 Esimerkkikohteen geotekniikka

Rakennuspaikka on geoteknisesti erittäin vaativa luontaisesti huonon stabiliteettinsa, heikkojen maakerrosten sekä suurten korkeuserojen vuoksi. Halikonjoen rantaluiskien varmuustaso on alhainen ja rantaluiskat ovat häiriintymis- ja eroosioherkkiä. Halikonjoen rantaluiskissa tapahtuu aika ajoin pienimuotoisia sortumia. (Urakka-asiakirjat)



Kuva 10. Luiskan luonnontilainen sortuma



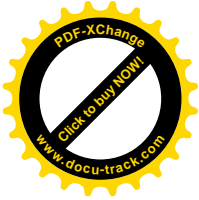
Maakerrostuman leikkauslujuus määrää maapohjan kantavuuden, maanpaineen suuruuden, maaluiskien vakavuuden jne. Mikäli maapohjaa kuormitetaan niin raskaasti, että kuormituksesta aiheutuvat leikkausjännitykset ylittävät maan leikkauslujuuden, maapohja murtuu ja rakenteen perustukset painuvat maan sisään tai liukuvat sivullepäin tiettyä liukupintaa myöten. Yleensä oletetaan, että maan leikkauslujuus koostuu kahdesta osasta:

- sisäisestä kitkasta, joka aiheutuu maarakeiden hankauksesta toisiaan vasten
- koheesiosta, joka aiheutuu maarakeiden välisestä molekyyli kiinnevoimista. (Helenelund 1967, 88.)

Koheesiota esiintyy pääasiassa hienorakeisissa maalajeissa, joissa rakeet ovat vesivaippojen ympäröimiä. Karkearakeisissa maalajeissa leikkauslujuus aiheutuu käytännössä kokonaan sisäisestä kitkasta. Luonnossa esiintyy kuitenkin myös sellaisia maalajeja, joiden leikkauslujuus koostuu sekä koheesiosta että sisäisestä kitkasta. Näiden seikkojen vuoksi maalajit voidaan jakaa kolmeen ryhmään. (Helenelund 1967, 88.)

- karkearakeiset maalajit eli kitkamaalajit
- hienorakeiset maalajit eli koheesiomaalajit
- välimaalajit eli koheesio-kitkamaalajit (Helenelund 1967, 89)

Maakerrostuman tehokas leikkauslujuus riippuu myös kuormitusnopeuden ja vedenläpäisevyyden välisestä suhteesta. Esimerkiksi saven ym. hienorakeisten maalajien huonon vedenläpäisevyyden takia tiivistymisprosessi saattaa kestää vuosikymmeniä ennen kuin luonnollisen savikerrostuman lujuus on lisääntynyt. Hiekan ym. karkearakeisten maalajien vedenläpäisevyys ja siitä seuraava tiivistymisnopeus ovat taas siksi suuria, että leikkauslujuuden lisääntyminen luonnossa yleensä tapahtuu samassa tahdissa kuin kuormitus kasvaa. (Helenelund 1967, 89)

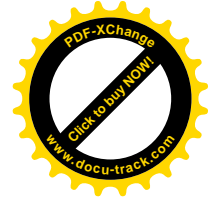


Siltapaikalle tehtiin vuonna 2004 toimenpideselvitystä varten 2 kpl heijarikairauksia, 4 kpl siipikairauksia ja otettiin häiriintymättömiä näytteitä yhdestä pisteestä 11 kpl. (Urakka-asiakirjat.)

Tiesuunnitelmaa varten vuonna 2006 tehtiin 3kpl painokairauksia, 28 kpl heijarikairauksia, 10 kpl porakonekairauksia ja 5 kpl siipikairauksia. Tämän lisäksi otettiin sekä häiriintymättömiä että häiriintyneitä näytteitä. Siltapaikalle asennettiin 4 kpl pohjavesiputkia. Maanäytteistä tutkittiin vesipitoisuus, rakeisuus, tilavuuspaino ja kartiolujuus. Lisäksi näytteistä tehtiin 4kpl ödometrikokeita. (Urakka-asiakirjat.)

Siltapaikalla, kovan pohjan päällä on suunnilleen 2 - 5 metrin paksuinen kantava kitkamaakerros. Kitkamaakerroksen yläpinta on sillan länsipuolella vanhan maatuen kohdalla noin -7. Kitkamaan päällä on kerrostunut savikerros, joka ulottuu aina maanpinnan tasoon asti. Savikerroksen ylin osa on kuivunut kuivakuorikerrokseksi. Kuivakuorikerroksen alapuolisen saven redusoimaton leikkauslujuus siipikairausten perusteella on joen länsipuolella 22 - 53 kPa ja itäpuolella 17 - 40 kPa. (Urakka-asiakirjat.) Liitteenä 1 kohteen goetekninen pituusleikkaus. Liitteessä 2 on esitetty kairausdiagrammeja.

Uuden siltapaikan länsipuolisen maatuen ympäristössä on luonnontilainen maanpinta ranta-alueella tasossa +14,0...+15,0 m. Ranta viettää joen suuntaan kaltevuudella 1:5. Joen pohja on alimmillaan tasolla -1,9 m. Itäpuolen maatuen ympäristössä maanpinta on tasolla +12,0...+15,0 m ja se viettää aluksi loivasti joen suuntaan kaltevuudella 1:13 ja joen läheisyydessä kaltevuudella 1:5. (Urakka-asiakirjat.)



5.4 Pohjarakennusratkaisut

Halikonjoen rantaluiskien vakavuus oli riittämätön siltapaikalla. Lisäksi pehmeät savikerrokset olivat häiriintymisherkkiä. Uuden sillan varmuustaso stabiliteetin suhteen oli riittävä seuraavin toimenpitein ja pohjanvahvistuksin:

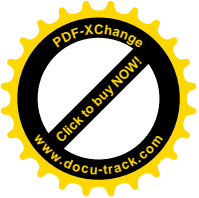
- Turun puolella saavutettiin riittävä varmuustaso, kun tulopenger perustettiin 40 metrin paalulaatalle ja tien vasemmalle puolelle tehtiin kevennyskaivu. Paalulaatta tehtiin kaltevana lähtien maatuen tasolta ja nousten kaltevuudella 1:12.
 - Salon puolella riittävä varmuustaso saavutettiin, kun tulopenger perustettiin 15 metrin paalulaatalle. Paalulaatta tehtiin kaltevuuteen 1:9.
 - tulopenkereen vasemmalle puolelle tehtiin kevennyskaivuja sekä Turun että Salon puolella. Turun puolella tulopenkereen oikean puoleinen luiska muotoiltiin kaltevuuteen 1:2. Salon puolella tehtiin kevennyskaivu.
- (Urakka-asiakirjat.) Liitteenä 3 on tutkimuskartta, josta näkyy kevennysleikkausalueet.

Työnaikaisen kiertotien silta ja uuden sillan telineet perustettiin avoimille pienputkipaaluille. Paalut täytyivät ristikitoa hyvin huojuntansa takia, koska paalut olivat useita metrejä maanpinnan yläpuolella. Paaluja ei poistettu työn lopussa vaan katkaistiin 1 m maanpinnan alapuolelta. Myös vanhan sillan puupaaluille perustetut tukirakenteet jätettiin maapohjaan parantamaan osaltaan varmuustasoa. (Urakka-asiakirjat.)



Kuvio 11. Kiertotien paalutus

Sillan rakennustyöt tehtiin siten, että stabiliteettilaskelmien mukaan on riittävä varmuustaso rakenteiden ja rantaluiskien vakavuuden suhteen koko työn ajan. Varasilta perustettiin paaluille ja tukien T1-T4 välisellä alueella maapohjaa ei kuormitettu merkittävästi vaan kaikki rakenteet ja pohjarakennustyöt tehtiin paalujen varassa. Lisäksi tukien T2, T3 ja T4 paaluille tehtiin esireikä maapohjan syrjäytymisen vähentämiseksi ja liiallisen huokospaineen nousun estämiseksi. Telinepaalut ja varasillan paalut olivat avonaisia putkipaaluja, jotka eivät syrjäyttäneet maata, ja siten maapohjan häiriintyminen ja huokospaineen nousu minimoitui. Maanvaraisilla osuuksilla mitoittavat työvaiheet ja raskaiden työkoneiden kuormitustilanteet tarkistettiin stabiliteettilaskelmilla ennen työvaiheen aloittamista. Tukien poikkileikkaukset on esitetty liitteessä 4.



5.5 Työnaikainen seuranta

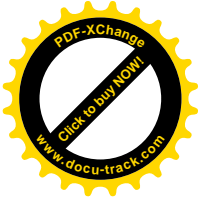
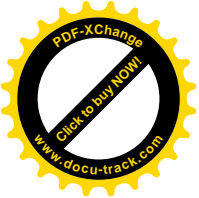
Työn aikana rakennusalueen vakavuutta ja mahdollisia siirtymiä tarkkailtiin jatkuvalla seurannalla. Seuranta oli erityisen tärkeää kaivu-, paalutus- ja täyttötöiden aikana. Molempiin rantaluiskiin asennettiin 2 kpl inklinometriputkia, joista seurattiin luiskien mahdollisia siirtymiä (liite 5). Lisäksi tarkkailumittauksia tehtiin telinepaaluihin asennettavista mittauspisteistä ja lähimmän rakennuksen sokkeliin asennettavasta mittauspisteestä. (Liite 6) Siltapaikan geoteknisen vaativuuden vuoksi työalueet, nostopisteet ja työsillat oli erikseen suunniteltava (taulukko 4). Alustavan suunnittelun perusteella työalueet perustettiin seuraavasti:

Taulukko 4. Työalueen perustamistapa

Rakennusosa:	Työalueen perustamistapa:
Läntinen tulopenger	kevennys + maanvarainen
Silta T1-T4	kaikki paalutettu
Silta T1-T4	maanvarainen
Itäinen tulopenger	kevennys + maanvarainen

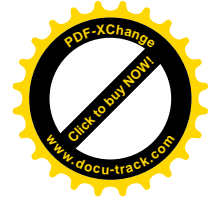
Länsipuolella olevien rakennusten (3 kiinteistöä) osalla tehtiin katselmus ennen töiden aloittamista. Katselmuksessa oli paikalla kiinteistönomistajan lisäksi urakoitsijan ja tilaajan edustajat. Katselmuksessa kirjattiin ylös kaikki halkeamat, painumat yms., ja ne valokuvattiin. Tien pohjoispuolella PL 290 kevennyskaivun vieressä olevan rakennuksen mahdollisia painumia ja siirtymiä mitattiin työn aikana. (Urakka-asiakirjat.)

Työnaikainen seurantamittausohjelma on seuraavan taulukon 5 mukainen:



Taulukko 5. Seurantamittausohjelma

Sijanti	Seurantatoimenpide	Seurantatiedys
PL 290 rakennukset vas. n.30m ja oik. n. 30 m. Kevyen liikenteen silta, molemmat maatuet	molempiin rakennuksiin prismatarra sokkeliin molempiin maatukiin prismatarra	Länsipuolen kaivu- ja paalutustöiden aikana kerran viikossa. Muuna aikana kerran kuukaudessa, jos ei muutoksia, voidaan harventaa kertaan / 2kk.
Länsipuolella sijaitsevat kiinteistöt, 3kpl	katselmointi ja tärinämittaus	Kiinteistöt katselmoidaan ennen töiden aloittamista ja työn jälkeen. Paalutustöiden ajaksi asennetaan tärinämittarit.
PL360 vas 30m PL360 keskilinja	inklinometriputki telinepaalu, jonka päässä siirtymämittauspiste	Länsipuolen kaivu- ja paalutustöiden aikana kerran viikossa. Muuna aikana kerran kuukaudessa, jos ei muutoksia, voidaan harventaa kertaan / 2kk.
PL360 oik 10 m	inklinometriputki	
PL400 vas 15m (varasilta) PL400 keskilinja	telinepaalu, jonka päässä siirtymämittauspiste telinepaalu, jonka päässä siirtymämittauspiste	Länsipuolen kaivu- ja paalutustöiden aikana kerran viikossa. Muuna aikana kerran kuukaudessa, jos ei muutoksia, voidaan harventaa kertaan / 2kk.
PL460 vas 30m PL460 keskilinja PL460 oik 10m	inklinometriputki telinepaalu, jonka päässä siirtymämittauspiste inklinometriputki	Itäpuolen kaivu- ja paalutustöiden aikana kerran viikossa. Muuna aikana kerran kuukaudessa, jos ei muutoksia, voidaan harventaa kertaan / 2kk.



5.6 Tärinä esimerkkikohteessa

Siltapaikka sijaitsi alueella, jossa savi ja siltti ulottui useiden, paikoittain jopa kymmenien, metrien syvyyteen. Tästä johtuen tärinän vaikutuksia arvioitiin tarkasti ja pidettiin silmällä työn aikana. Tärinä ei kuitenkaan aiheuttanut työmaalla minkäänlaisia ongelmia, vaikka toisin uskottiin. Esimerkiksi paalulaatan paaluja paalutettaessa, 1. paalu aiheutti suurimmat tärinät. Työmaalla asiaa pohdittiin ja tultiin siihen tulokseen, että kun paalua lyötiin, maaperä häiriintyi siten, että tärinä ei enää välittynyt siinä samoin kuin häiriintymättömässä maaperässä.

Tärinämittareissa suurimman arvon antoi liikennetärinä. Suurin arvo syntyi, kun raskas ajoneuvo ajoi tiessä olleeseen painumaan tai kuoppaan.

Paalutuksen jälkeen tärinämittarit poistettiin ja tärinän vaikutuksen alueella olleilta kiinteistönhaltijoilta tiedusteltiin, onko tärinä aiheuttanut vahinkoa ja onko korvausvaatimuksia. Kaksi kolmesta antoi lausunnon, että vahinkoa ei ole syntynyt. Kolmas kiinteistönomistaja esitti, että olemassa olleet halkeamat ovat suurentuneet ja vaati korvauksia. Asiantuntijan lausunnon mukaan halkeamien laajentuminen ei voinut johtua rakentamisesta. Lausunto perustui tärinämittareiden tuloksiin: koska tärinäarvot eivät ylittyneet, on mahdotonta, että halkeamat olisivat johtuneet rakentamisesta.

Tärinämittarien tulokset liitteessä 7.

5.7 Paalutus esimerkkikohteessa

Maatuen T1 paalutyyppejä oli kalliokärkinen teräsputkipaalu 711x12.5 ja 812x12.5, teräslaatu S355J2H, 4 paalua / tuki. Maksimi käyttötilan paalukuormat olivat 2.3MN (711x12.5) ja 4.72MN (812x12.5) MN. Isommat paalut olivat eteenpäin 4:1 vinoja paaluja, pienemmät pystypaaluja.

Maatuen T6 paalutyyppeä oli kalliokärkinen teräsputkipaalu 711x12.5, teräslaatu S355J2H, 4 paalua / tuki. Maksimi käyttötilan paalukuormat olivat 3.76MN. Paaluista 2 kpl asennettiin eteenpäin 4:1 vinoiksi paaluiksi, 2 kpl pystyyn.

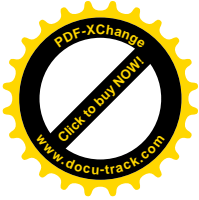
Välitukien T2 ja T3 paalutyyppeä on kalliokärkinen teräsputkipaalu 813x12.5, teräslaatu S355J2H, 4 paalua / tuki. Maksimi käyttötilan paalukuorma on tuella T2 5.0 MN ja tuella T3 5.12MN. Kaikki paalut asennettiin pystyyn.

Välitukien T4 ja T5 paalutyyppeä oli kalliokärkinen teräsputkipaalu 711x12.5, teräslaatu S355J2H, 4 paalua / tuki. Maksimi käyttötilan paalukuorma on tuella T4 3.60 MN ja tuella T5 3.40MN. Kaikki paalut asennettiin pystyyn.

Kaikki paalut tukeutuivat kallioon tai tiiviiseen pohjamoreeniin ja kaikkien paalujen kalliokärjet varustetaan kovametallituurnalla.



Kuva 12. Kalliokärjillä varustettuja paaluja



Paalumateriaalit ja kärjet toimitti Rautaruukki. Paaluputket 711x12.5 koottiin Ins. tsto Seppo Rantala Oy:n Oriselän siltaurakan työmaalla 3 - 6m:n pätkistä oikeaan mittaansa. Jatkoshitsaukset, kärkien kiinnitys ja laadunvalvonta tehtiin Teräsputkipaalut - ohjeen mukaisesti. Hitsareilta vaadittiin pätevyystodistukset ja saumojen tarkastusraportit liitettiin sillan laatukansioon aineistodistusten mukana.

Paalutustyöalusta tuilla T2 ja T3 rakennettiin paalutettuna käyttäen teräsmaalua ja -palkkeja. Työtelineestä laadittiin erillinen suunnitelma. Maatuilla T1 ja T6 paalutustyö tapahtui pengerlaatan päälle tehdyn suojatäytön päältä, välituilla T4 ja T5 maanvaraiselta työalustalta.

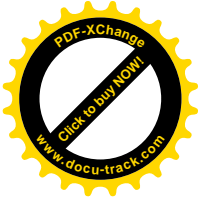
Tuilla T2, T3 ja T4 paalujen (yht. 12 kpl) kohdille tehtiin etukäteen esireikä maan syrjäytymisen vähentämiseksi. Esireikä tehtiin auger - kairalla, jonka halkaisija on 350mm ja reiän syvyys on n. 8 metriä.

Paalujen arvioidut tukeutumistasot olivat välillä -15 ...-6. Paalujen tilauspituudet määritettiin siten, että yläpää ulottui työtason yläpuolelle.

Tilatut paalupituudet (ilman kärjen mittaa) olivat:

- T1: 27...28 m
- T2: 19 m
- T3: 16 m
- T4: 14 m
- T5: 17 m
- T6: 21...22 m

Tukien T1, T2, T5 ja T6 paalut jatkettiin työn aikana, jatkokset hitsattiin ja ultraäänimitattiin SPO2005 / Teräsputkipaalut - ohjeen mukaisesti.



Paalutus sujui suunnitelmien mukaan ja ilman ongelmia. Paalutuksesta aiheutui yksi poikkeamaraportti (liite 8), kun paalutettaessa tukea T2 paalut siirtyivät noin 15 cm alaspäin jokea kohti. Maaperässä oli jokin este, joka aiheutti kyseisen siirtymisen. Asiasta ilmoitettiin geoteknikolle, jonka lausunnon mukaan paras vaihtoehto oli jättää paalut paikoilleen ja siirtää tuen koordinaatteja paaluihin sopivaksi. Näin voitiin toimia, koska jännevälin kasvu ei aiheuttanut ongelmia jatkossa.

Paalutustyön teki Kantolan Paalutus Oy, koneena Junttan PM23. Paalut upotettiin tarvittaessa vesitäytteisinä Junttan HHK7/9A – hydraulijärkäleellä, jonka liikkuvan osan paino oli 7/9 tonnia ja maksimi pudotuskorkeus 1.5 metriä. Tarvittaessa upotusta tehostettiin loppuvaiheessa lyömällä 10 tonnin vapaapudotusjärkäleellä, jonka pudotuskorkeus oli vapaasti säädettävissä (loppulyönnit). Paalutuskoneelle tehtiin pystytystarkastus ennen töiden aloittamista.

Kun paalun kärki saavutti kallion, lyötiin 50 iskua 0.2 metrin pudotuskorkeudella. Sarjaa toistettiin, kunnes kärki oli meislaantunut 50mm kallioon. Paalujen lyönti voitiin lopettaa, kun loppulyöntiehdot olivat täyttyneet ja paalut olivat ≤ 2 metrin päässä tavoitetasosta.

Paalujen loppulyöntiehdot kolmella viimeisellä 10 lyönnin sarjalla kullakin erikseen esitetty taulukossa 6:

Taulukko 6. Loppulyöntiehdot

Paalu	711x12.5 3.8MN	813x12.5 5.12MN
Järkäle	7 ton	7 ton
Pudotuskorkeus Loppulyönneissä	1.5 m	1.5 m
Sallittu painuma / 10 isku	5 mm	3 mm

Paalujen geotekninen kantavuus tarkistettiin PDA – mittauksella siten, että kaikilta tulta mitattiin 2 paalua. PDA – mittauksen suoritti Tampereen teknillisen yliopiston Geotekniikan laboratorio. PDA- mittauksen jälkeen paaluun lyötiin 10 iskuja pienellä lyöntienergialla, jotta saatiin varmistettua paalun kärjen tukeutuminen kovaan pohjaan. Kuvassa 14 näkyvät PDA-mittauksessa käytettävät anturit paalun kyljessä ja kuvassa 15 tietokone, johon anturit välittävät tietoa.



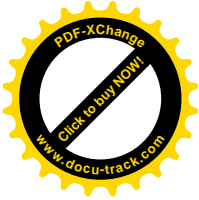
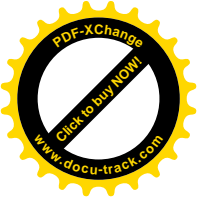
Kuva 14. PDA- mittauksessa käytettävät anturit



Kuva 15. PDA- mittauksessa käytettävä tietokone

Kunkin paalun saavutettua lopullinen tukeutumistasonsa paalun yläpää vaaittiin. Ennen paalutuskaluston poistumista työmaalta, kuitenkin ennen betonointia, tarkastettiin, etteivät paalut olleet nousseet lyönnin jälkeen. Mikäli oletettiin, että paalu on päässyt nousemaan, lyötiin se uudelleen kovaan pohjaan. Nousun estämiseksi paalut painotettiin vesitäyttöä käyttäen. Paalujen lopullinen sijainti tarkistettiin ja mahdolliset toleranssin ylittävät poikkeamat lähetettiin suunnittelijalle tarkistettaviksi. Työstä tehtiin paalutuspöytäkirja Suurpaalutusohjeen 2001 kohdan 10 mukaisesti.

Ennen raudoite-elementin asennusta paalut painotettiin teräspalkkeja ja betonielementtejä käyttäen. Painotuksen jälkeen paalut pumpattiin tyhjiksi porakaivopumpulla.



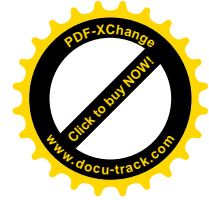
Paalujen raudoitteet koottiin hitsaamalla valmiiksi elementeiksi, jotka asennettiin vedestä tyhjennettyyn putkeen käyttäen keskistystappeja raudoitteen kehällä. Paaluraudoite hitsattiin kiinni putkeen oikeaan korkeusasemaansa. Paalut betonoitiin kuivatyönä pumppua ja valuputkea käyttäen. Betonimassana käytettiin K35 – 2. Betonimassa tiivistettiin sauvatäryttimellä.

Paaluputket katkaistiin lopulliseen mittaansa betonin sitouduttua. Betonien laadunvalvonta tehtiin siltakohtaisen betonien laadunvalvonta-suunnitelman mukaisesti.

Teräsputkipaalutuksesta liitettiin sillan laatukansioon:

- putkien ja kalliokärkien ainestodistukset sekä hitsien tarkastusraportit
- paalutuspöytäkirja
- PDA - mittausraportti
- sijainnin toteutumarakortti
- raudoitteiden tarkastusraportit
- betonointipöytäkirjat
- betonin puristuslujuustodistukset
- suunnittelijan lausunnot tarvittaessa

Liitteenä 9 on PDA- mittausraportti

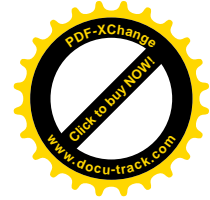


6. Yhteenveto

Ympäristövaikutuksien huomioonottaminen on rakennusprojekteissa hyvin tärkeää. Mikäli ympäristövaikutuksia ei oteta riittävän vakavasti huomioon, saattaa aiheutua sekä huomattavia kustannusylityksiä, että aikataulun venymistä. Pahimmassa tapauksessa ympäristövaikutusten huomiotta jättämisestä saattaa aiheutua henkilövahinkoja. Tämän takia ympäristövaikutukset tulee ottaa huomioon sekä suunnittelussa että rakennusvaiheessa.

Ympäristövaikutuksiin vaikuttavat monet tekijät kuten maaperä, pohjavesi, rakennettava kohde, kalusto, rakennuskohteen sijainti, rakennustapa, yms. ja ne ovat aina tapauskohtaisia. Ympäristövaikutuksien seuraamisella on suuri rooli rakennusvaiheessa. Seurannan ansiosta tiedetään koko ajan, mikä on vaihe ja miten seurattava elementti käyttäytyy. Näin ollen ollaan valmiita reagoimaan nopeasti, jos ongelmia ilmenee ja pystytään minimoimaan vahingot. Tämän työn avulla lukija voi tutustua lähinnä tärinään sekä paalutuksesta johtuviin ympäristövaikutuksiin.

Halikon siltauran paalutus oli vaativa työvaihe, mutta siitä selvittiin ilman suuria ongelmia. Tämä oli työn tekijän mielestä hyvän suunnittelun sekä toteutuksen yhteissumma. On hyvin tärkeää, että vuorovaikutus suunnittelijan sekä työmaan edustajan välillä toimii. Seurantatuloksista nähdään, että raja-arvot eivät ylittyneet. Tuloksista voidaan tulkita, että haitalliset ympäristövaikutukset saatiin minimoitua.



LÄHTEET

Helene Lund K.V. 1967. Maarakennusmekaniikka. Seitsemäs painos.

Espoo, Otapaino

Kohteen urakka-asiakirjat 2008

Kulmala, Hannele 2008. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Luentomateriaali

Leppänen, Hanna 2008. Paalutuksesta ja pontituksesta aiheutuva värinä.

Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennusosasto. Tampere

RIL 212-2001 (2001). Suurpaalutusohje SPO-2001. Helsinki, Suomen

rakennusinsinöörien liitto ry

RIL 223 – 2005 (2005). Lyöntipaalutusohje LPO-2005. Helsinki, Suomen

rakennusinsinöörien liitto ry

Teräspuutkipaalut 1989. Sillansuunnittelu TVH 723448. Helsinki, Tie- ja

vesirakennushallitus

Teräspuutkipaalut 1999. Sillansuunnittelu. Helsinki, Tiehallinto.

[Online][Viitattu 15.3.2009]

<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/teraspuutkipaalut1999.pdf>

Törnqvist, Jouko & Talja, Asko 2006. Suositus liikennetärinän

arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa

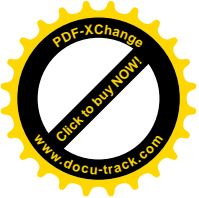
Törnqvist, Jouko 1986. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus. Julkaisu 309-

86. Helsinki, INSKO ry

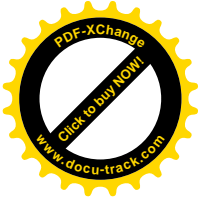
VTT 2006. Suositus Liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön

suunnittelussa. Espoo, VTT. [Online][Viitattu 23.3.2009] ISBN

951.38.6602.5 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W50.pdf>

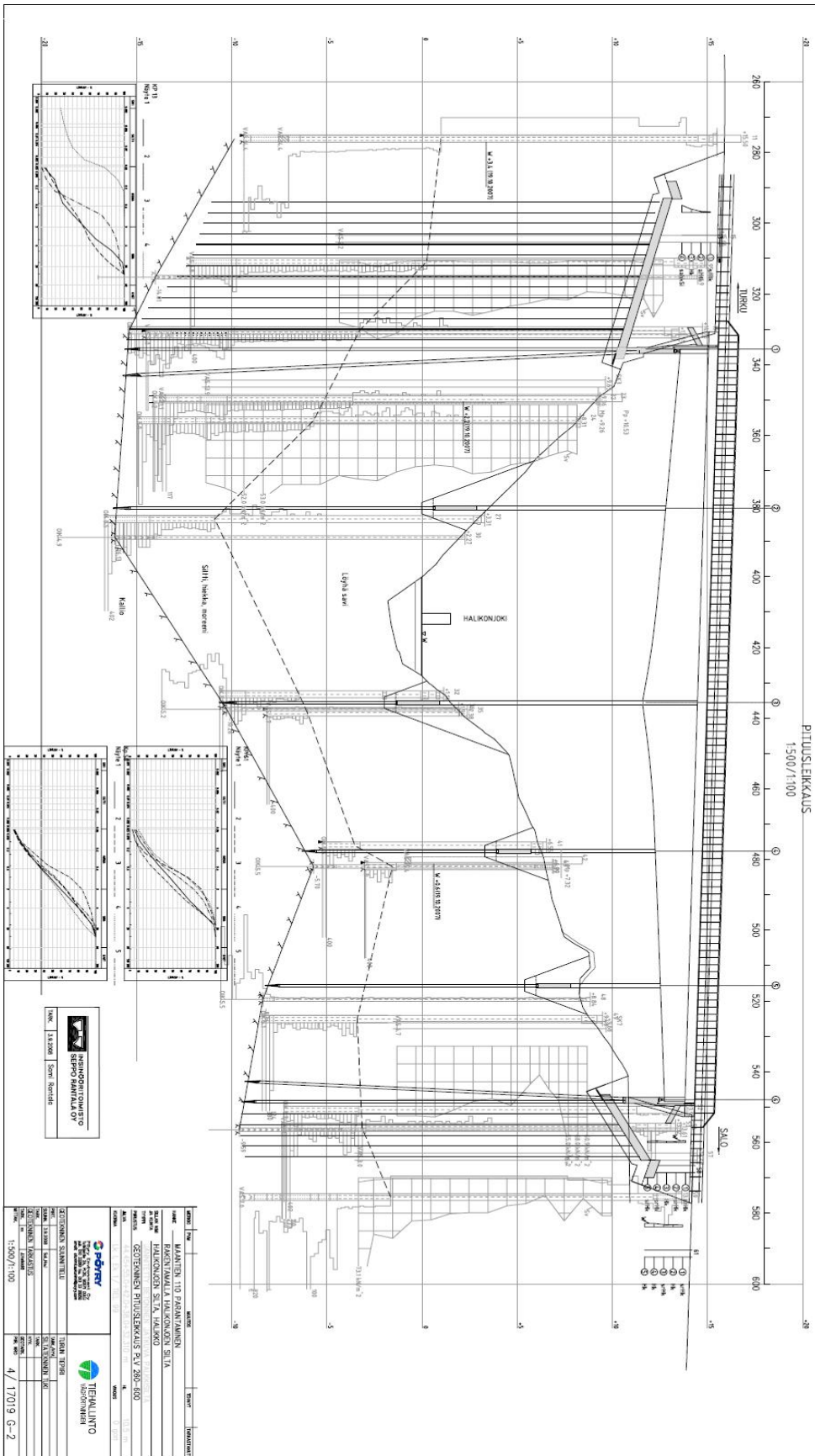


LIITTEET



Liite 1 Geotekninen pituusleikkaus

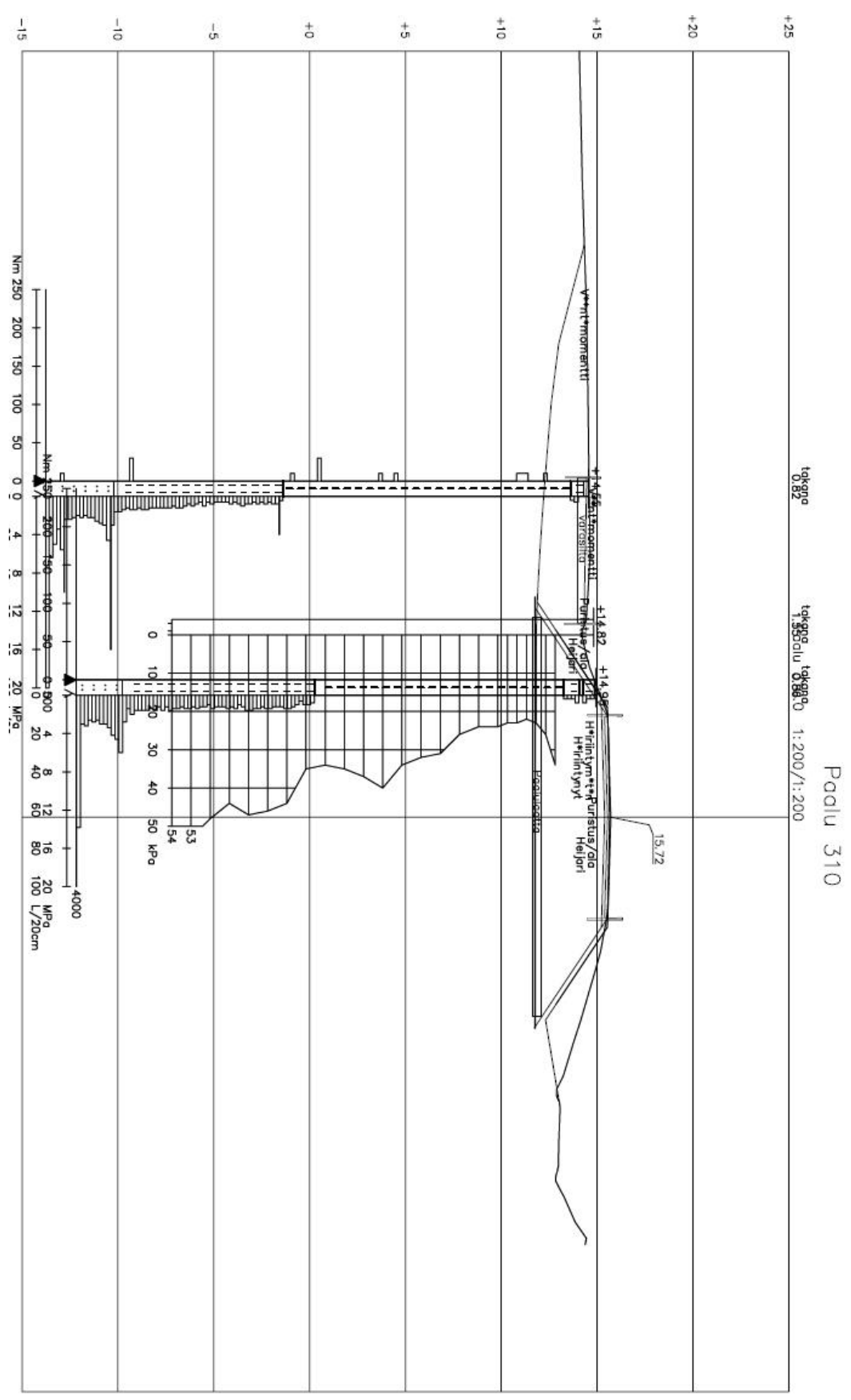
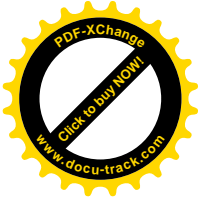
1(1)

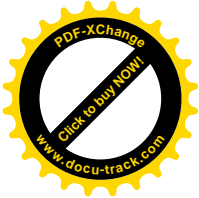
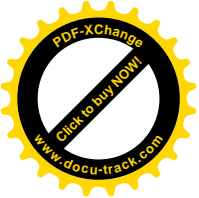




Liite 2 Kairausdiagrammi

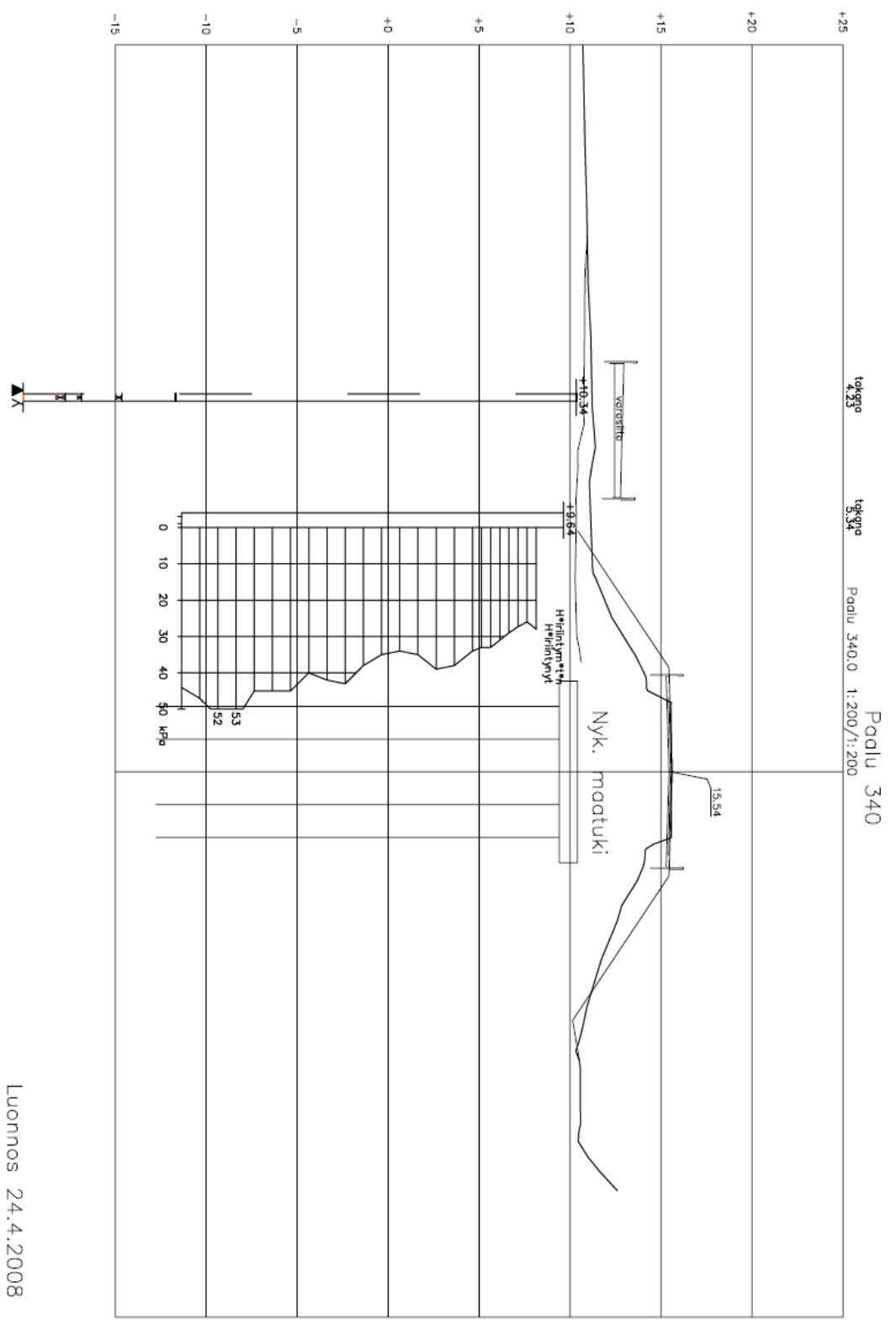
2(3)



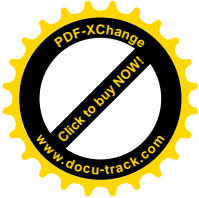
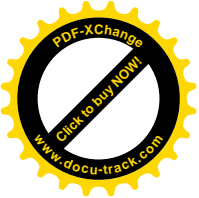


Liite 2 Kairausdiagrammi

3(3)

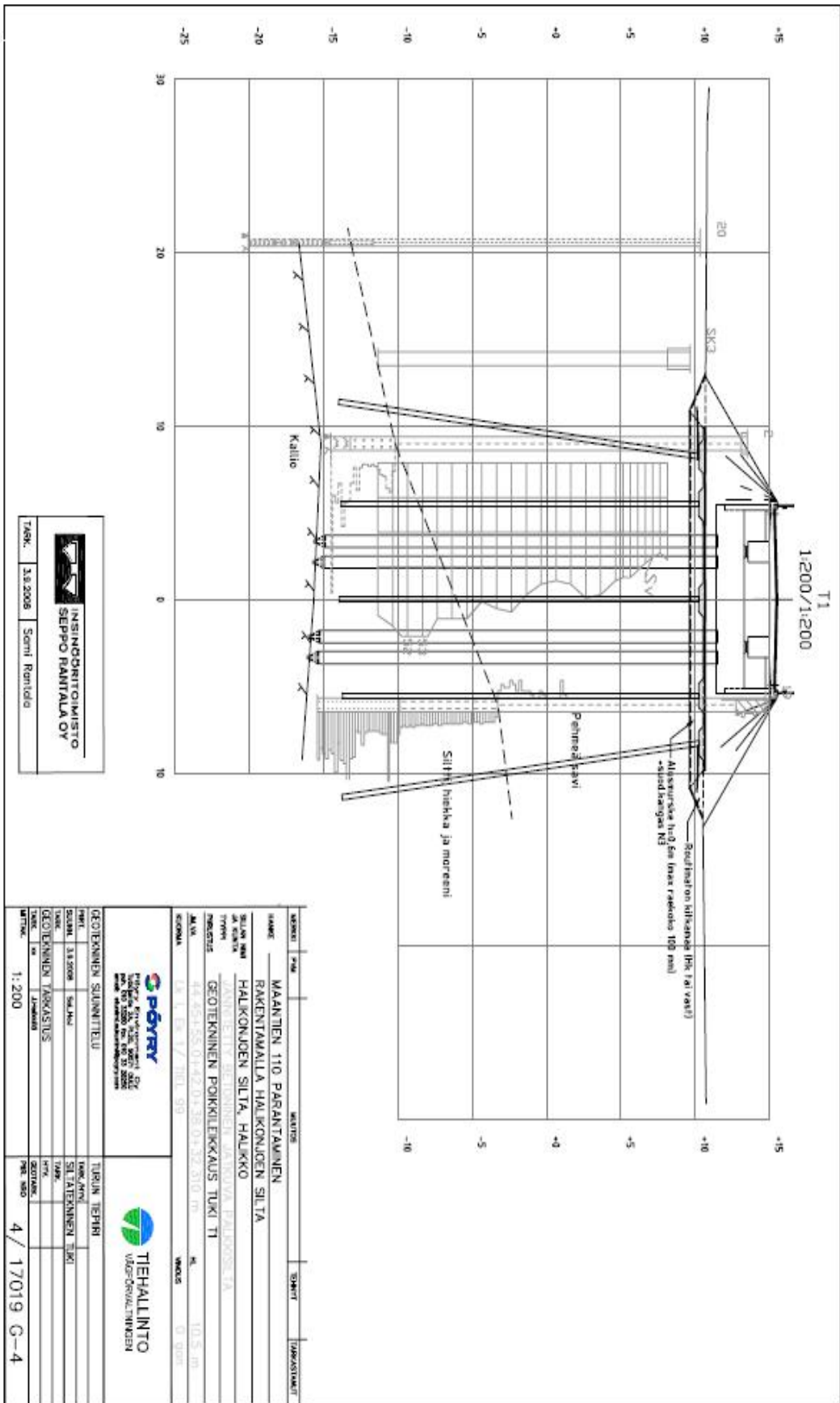


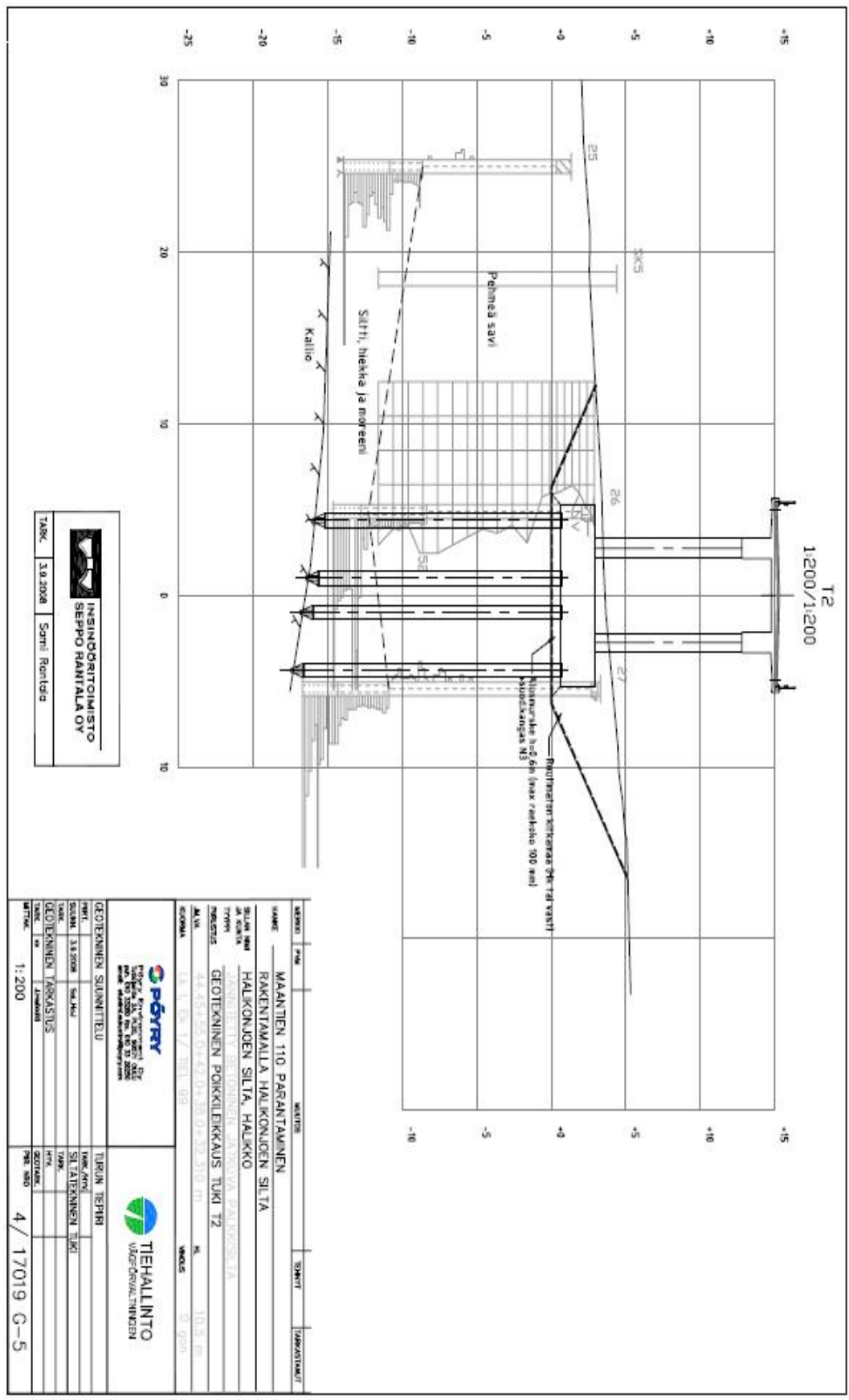
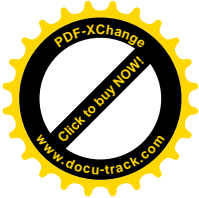
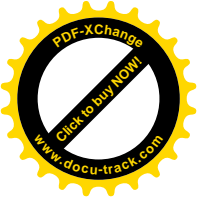
Luonnos 24.4.2008



Liite 4
Tukien poikkileikkaukset

1(6)

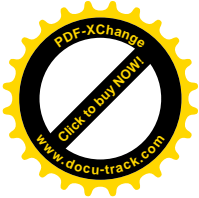




INSINÖÖRITOIMISTO
SEPPÖ RANTALA OY

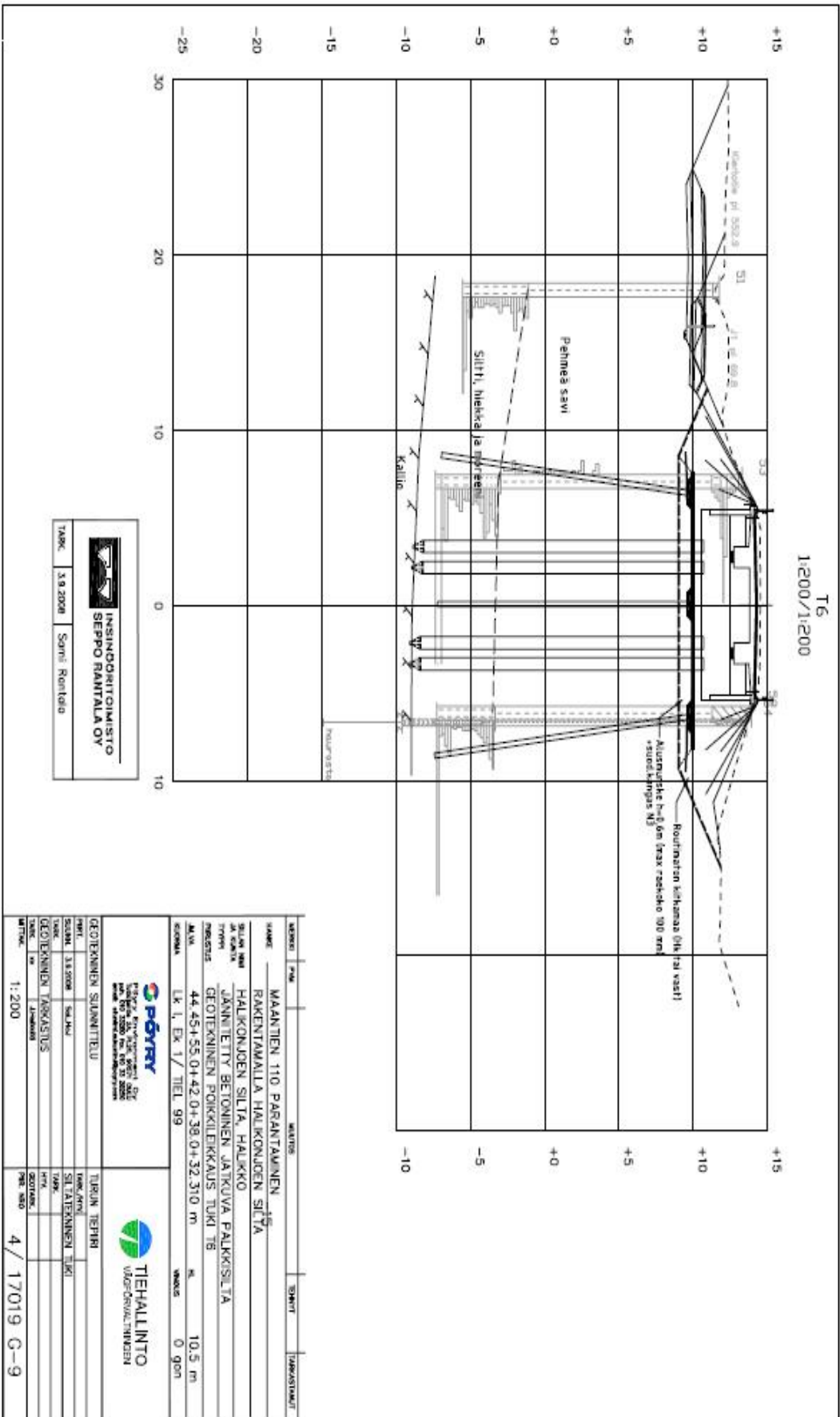
TASKU 1.9.2008 Sormi Rantala

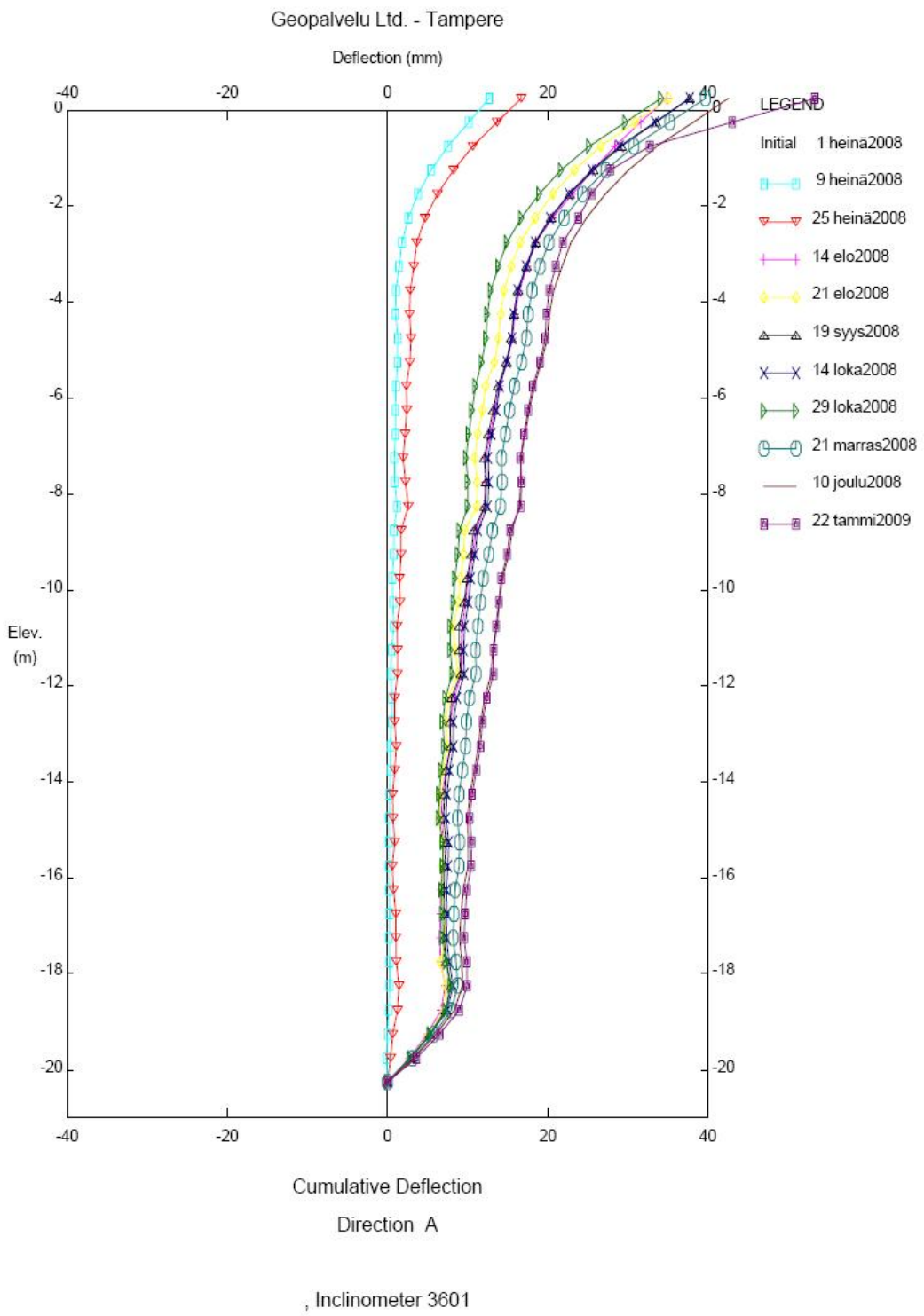
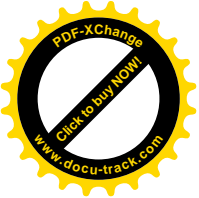
MAANTIEN 110 PARANTAMINEN RAKENTAMALLA HALKONJEN SILTÄ	MAANTIEN SILTI	TARKASTUSKÄSI
SILTÄN LAI HALKONJEN SILTÄ, HALKKO		
YHTEISTYÖ SEURANEN YHTYYS PALJUNSAVA		
PROJEKTI GEOTEKNINEN POIKKILEIKKAUS TUKI T2		
ALUE 44.51555044204-30.9132310 m	10.5 m	
KOORDINAATIT 44.51555044204-30.9132310	9.90 m	
GEOTEKNINEN SUUNNITTELU	TURJUU TEHRH	
SOITIN 1.9.2008	SAKKA	SILTÄN ENNEN TUKI
TUOKS		
GEOLOGINEN TARKASTUS	HVA	
TARK. 19	LOHJANIEMI	
MITT. 1:200		
		4 / 17019 G-5

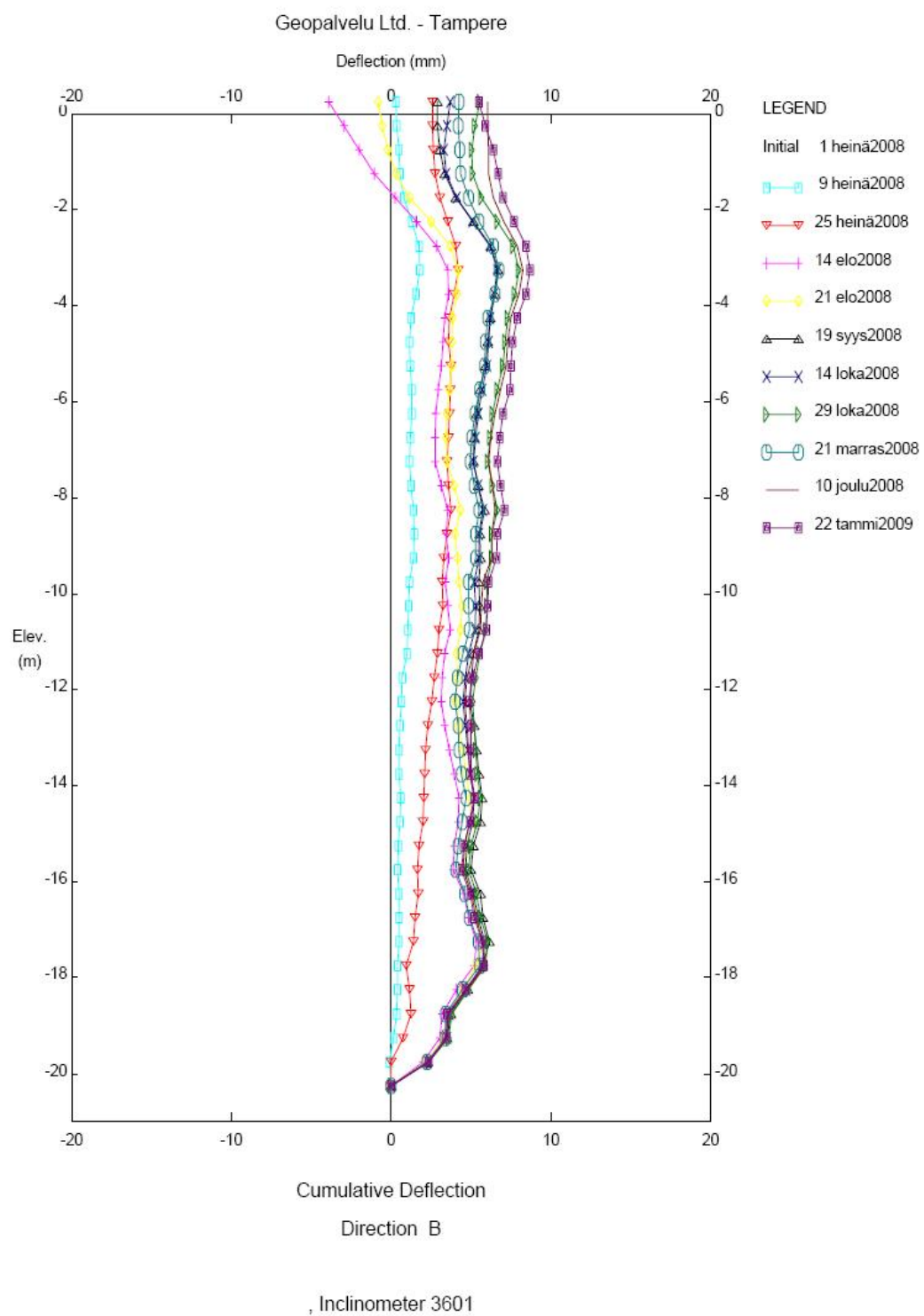
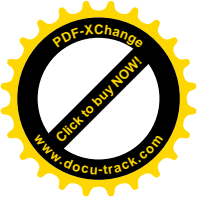


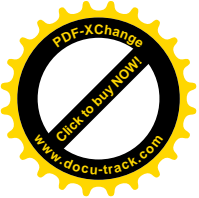
Liite 4
Tukien poikkileikkaukset

6(6)

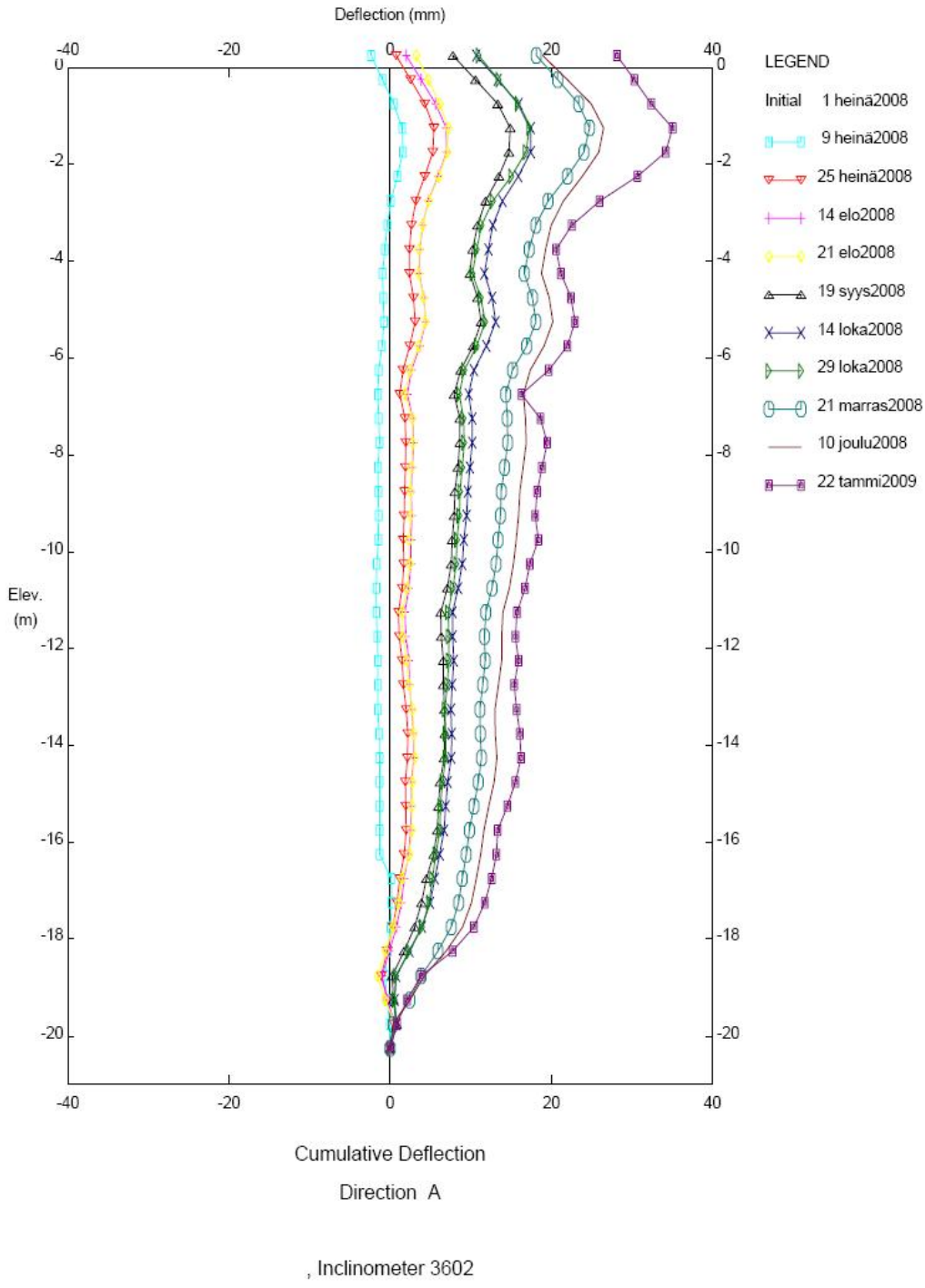


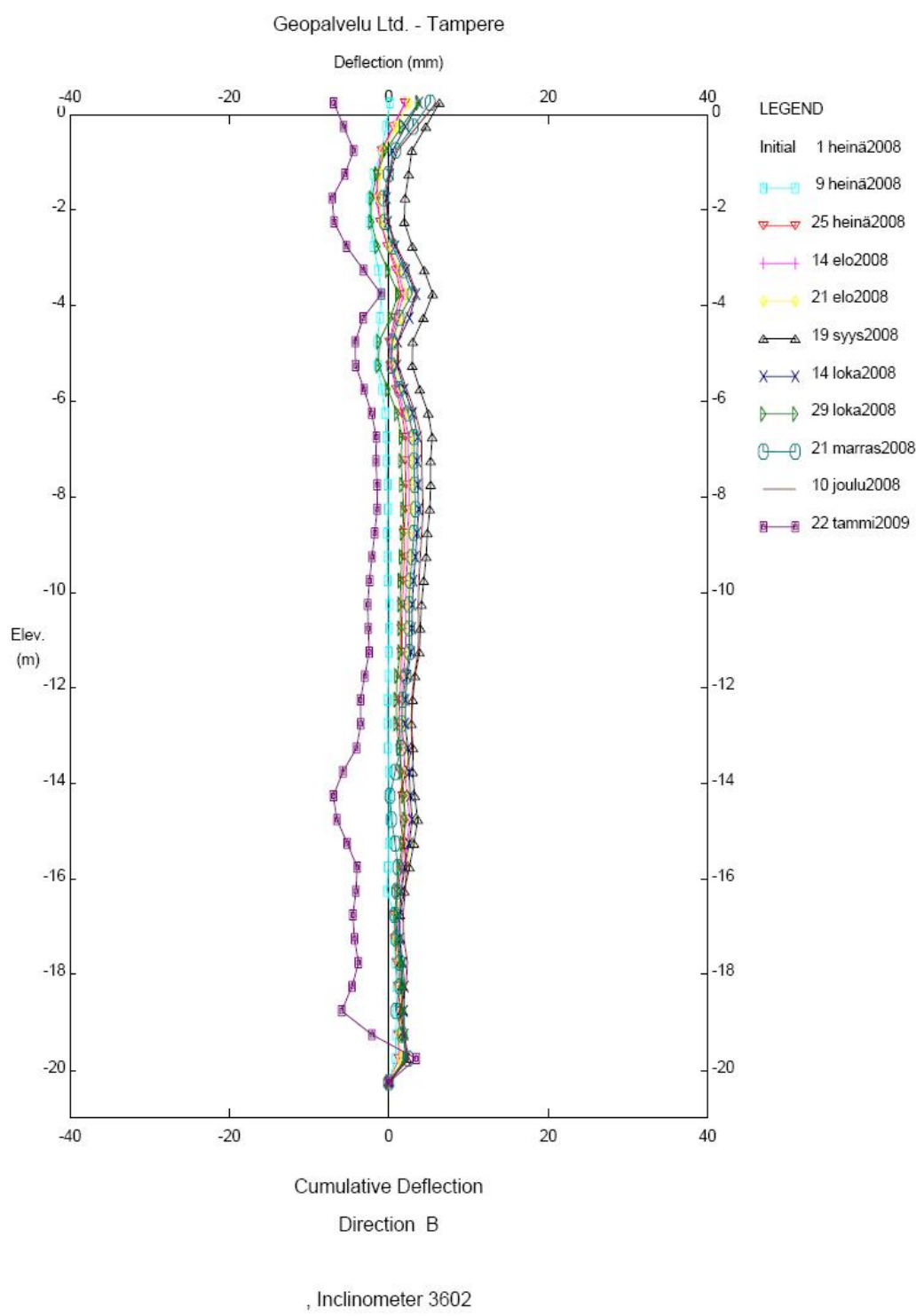
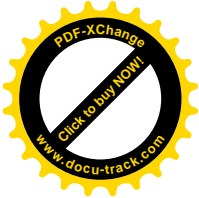


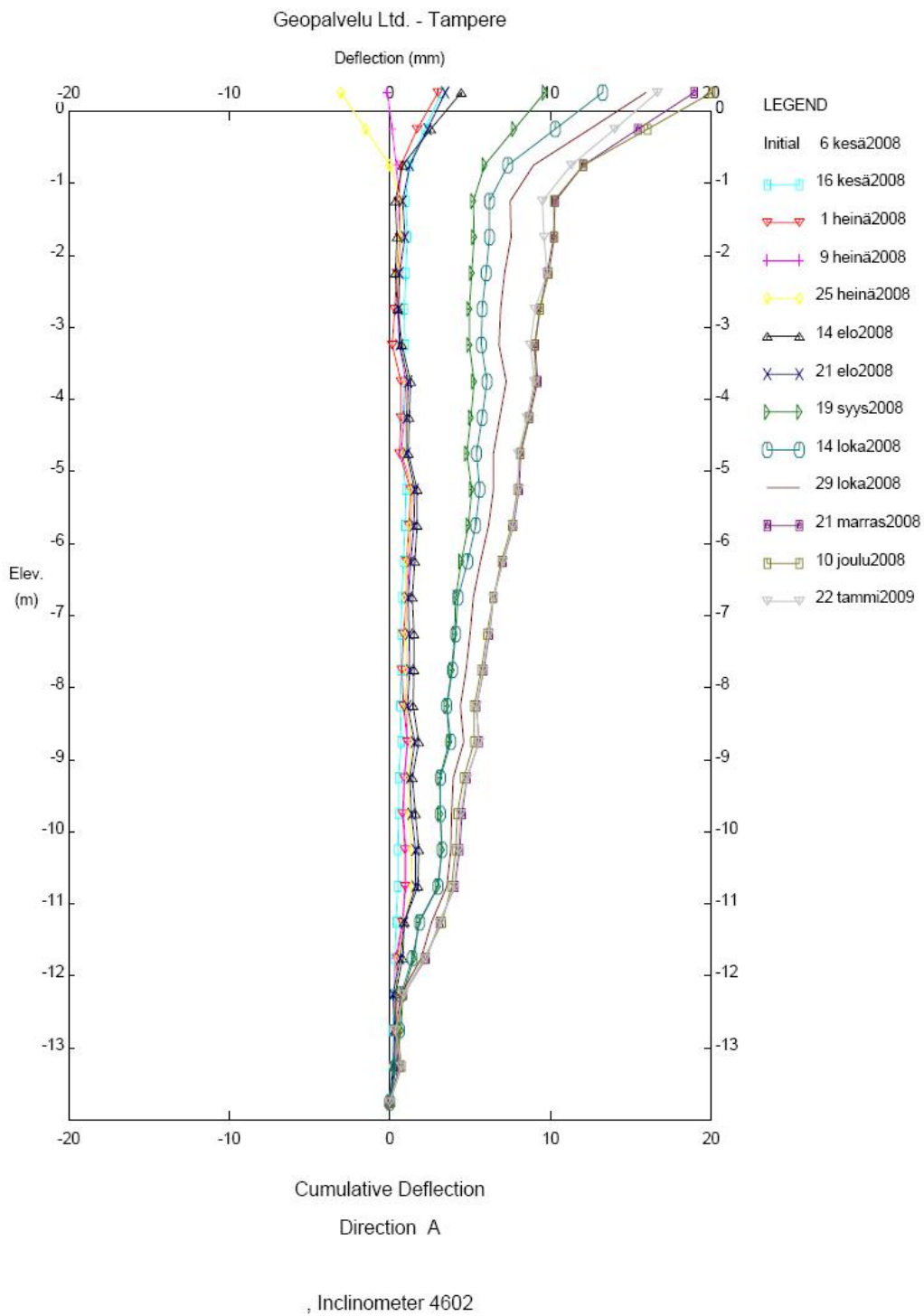
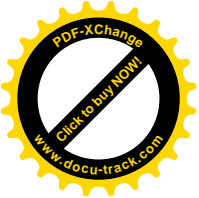


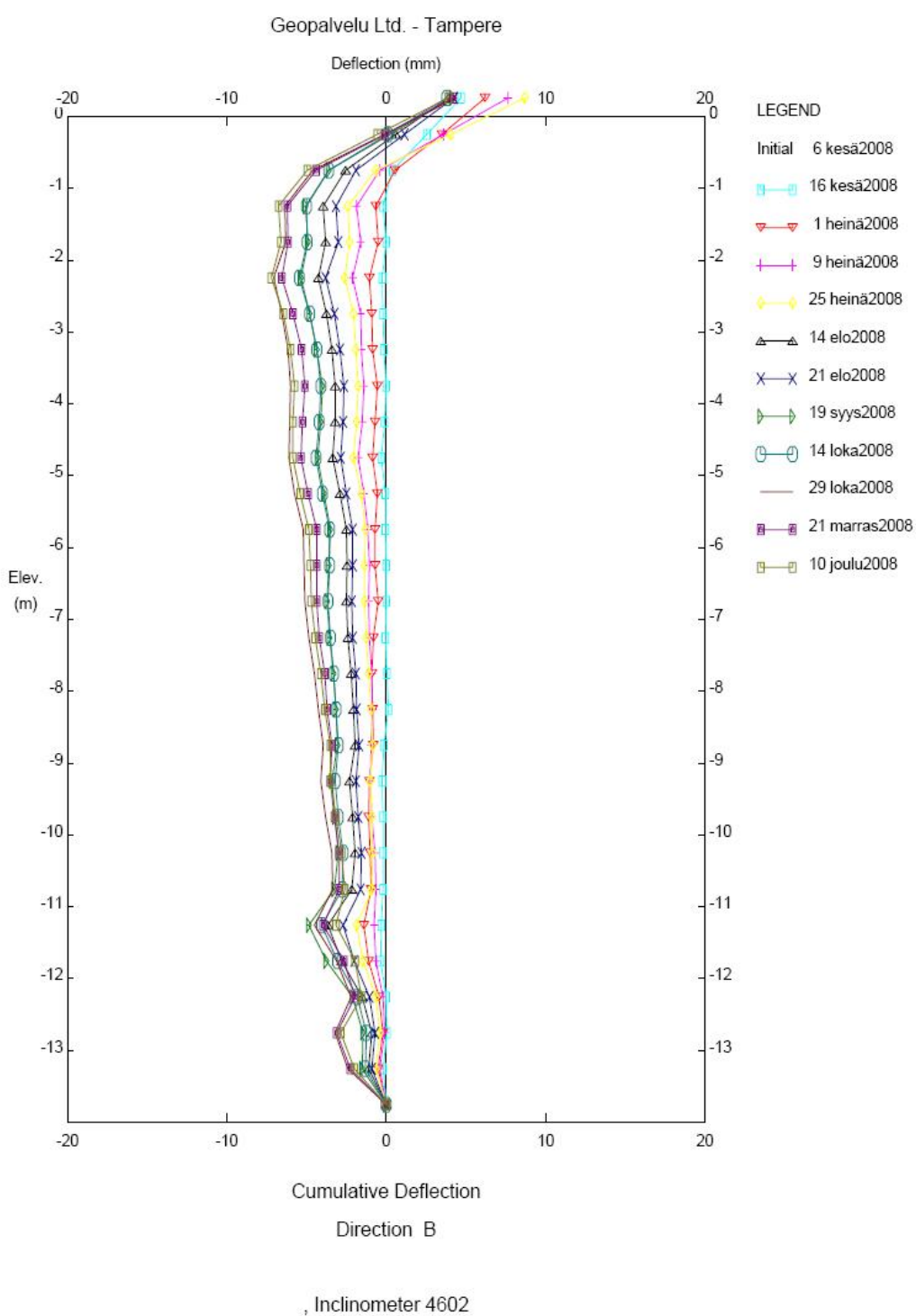
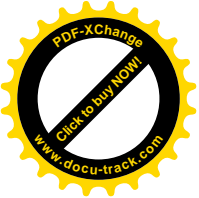


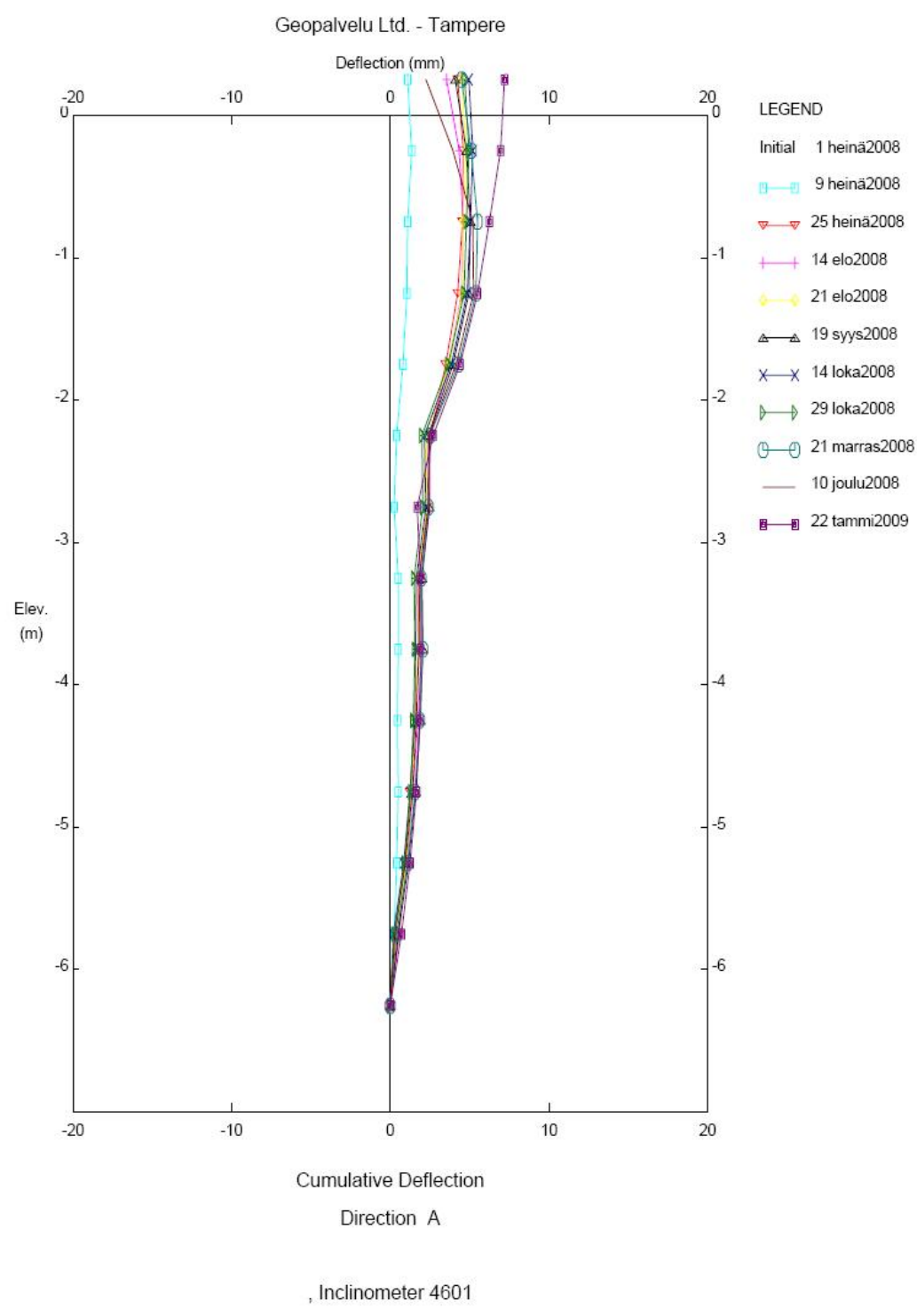
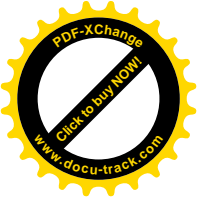
Geopalvelu Ltd. - Tampere

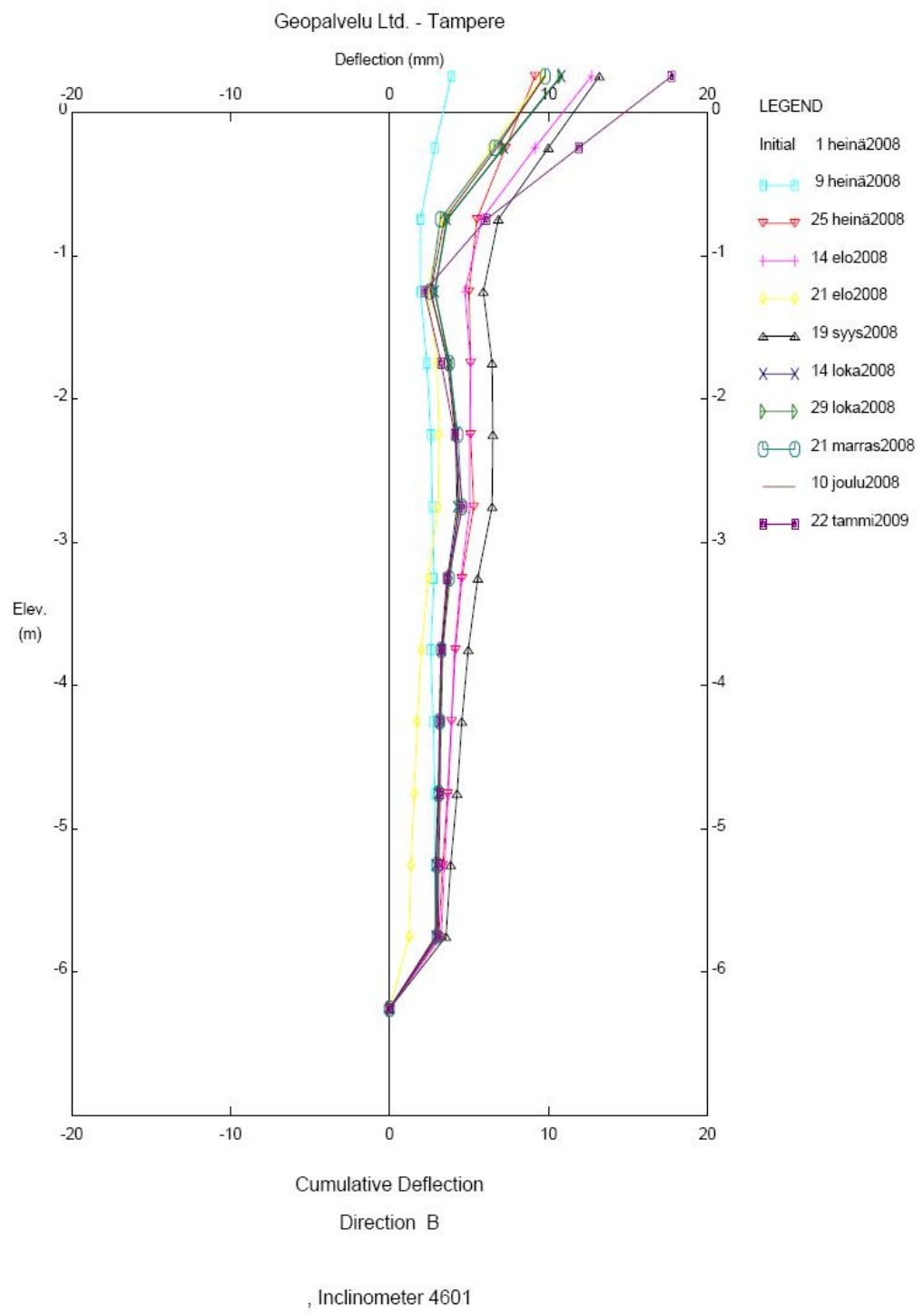
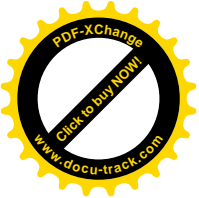


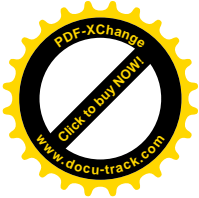












Liite 5
Inklinometriputket

9(10)

HALIKONJOEN SILTA

Työnaikaiset mittaukset ja tarkkailusuunnitelma
SEURANTAMITTAUSOHJELMA

Inklinometriputki 4601

Putki maanpinnan tasosta +0,62
m

Syvyys 6,5 m

Sijainti paalu 460,004 sivulle -30,063 korkeus 5,669

Inklinometriputki 4602

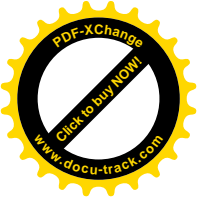
Putki maanpinnan tasosta +0,20
m

Syvyys 13,5 m

Sijainti paalu 459,973 sivulle 9,998 korkeus 6,156

Mittaus	Pvm	Putki	Vedenpinta (m) maan pinnasta	Mittaaja
0	06.06.2008	4601	- 5,50	SM
0	06.06.2008	4602	- 1,66	SM
1	16.06.2008	4601	- 3,18	SM
1	16.06.2008	4602	- 1,52	SM
0	01.07.2008	4601	- 0,43	SM
2	01.07.2008	4602	- 1,08	SM
1	09.07.2008	4601	- 0,88	SM
3	09.07.2008	4602	- 1,16	SM
2	25.07.2008	4601	- 1,29	HA
4	25.07.2008	4602	- 1,30	HA
3	14.08.2008	4601	- 1,49	SM
5	14.08.2008	4602	- 1,00	SM
4	21.08.2008	4601	- 1,47	SM
6	21.08.2008	4602	- 0,92	SM
5	19.09.2008	4601	- 1,41	SM
7	19.09.2008	4602	- 0,87	SM
6	14.10.2008	4601	- 1,36	SM
8	14.10.2008	4602	- 0,79	SM
7	29.10.2008	4601	- 1,30	SM
9	29.10.2008	4602	- 0,72	SM
8	21.11.2008	4601	- 1,70	SM
10	21.11.2008	4602	- 0,78	SM
9	10.12.2008	4601	- 1,13	SM
11	10.12.2008	4602	- 0,82	SM
10	22.01.2009	4601	- 1,29	SM
12	22.01.2009	4602	- 0,95	SM

HUOM! Putkeen päässyt savea



Liite 5 Inklinometriputket

10(10)



Inklinometriputki 3601

Putki maanpinnan tasosta +0,05
m

Syvyys 20,0 m

Sijainti paalu 359,179 sivulle -27,018 korkeus 7,039

Inklinometriputki 3602

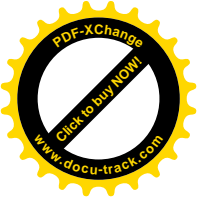
Putki maanpinnan tasosta +0,30
m

Syvyys 20,0 m

Sijainti paalu 359,941 sivulle 9,584 korkeus 8,300

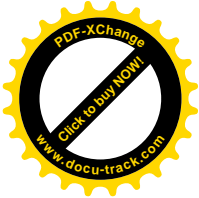
Mittaus	Pvm	Putki	Vedenpinta (m) maan pinnasta	Mittaaja
0	01.07.2008	3601	- 5,46	SM
0	01.07.2008	3602	- 6,10	SM
1	09.07.2008	3601	- 5,37	SM
1	09.07.2008	3602	- 7,82	SM
2	25.07.2008	3601	- 5,45	HA
2	25.07.2008	3602	- 9,13	HA
3	14.08.2008	3601	- 4,85	SM
3	14.08.2008	3602	- 5,62	SM
4	21.08.2008	3601	- 4,63	SM
4	21.08.2008	3602	- 5,15	SM
5	19.09.2008	3601	- 5,67	SM
5	19.09.2008	3602	- 4,67	SM
6	14.10.2008	3601	- 4,97	SM
6	14.10.2008	3602	- 5,13	SM
7	29.10.2008	3601	- 4,85	SM
7	29.10.2008	3602	- 5,06	SM
8	21.11.2008	3601	- 4,97	SM
8	21.11.2008	3602	- 5,55	SM
9	10.12.2008	3601	- 4,25	SM
9	10.12.2008	3602	- 4,98	SM
10	22.01.2009	3601	- 4,26	SM
10	22.01.2009	3602	- 5,46	SM

HUOM! HÄLYTYSRAJA



Liite 6
Seurantapisteiden mittausraportti

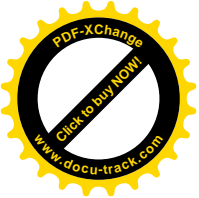
1(6)



HALIKONJOEN SILTA
TYÖNAIKAISET SEURANTAMITTAUKSET

03.11.2008

	PVM	X	Y	Z	mit,nro
Talo etelä	09.06.2008	6698029,93	2449162,823	16,252	300
Talo pohjoinen	09.06.2008	6698080,837	2449134,321	15,684	301
Ulkorakennus pohjoinen	09.06.2008	6698097,196	2449117,12	14,698	302
Kev.liik.sillan maatuki länsi	10.06.2008	6698085,021	2449233,732	7,405	303
Kev.liik.sillan maatuki itä	10.06.2008	6698115,854	2449290,463	7,149	304
Talo etelä	16.06.2008	6698029,933	2449162,818	16,255	
Talo pohjoinen	16.06.2008	6698080,837	2449134,316	15,687	
Ulkorakennus pohjoinen	16.06.2008	6698097,196	2449117,116	14,701	
Kev.liik.sillan maatuki länsi	16.06.2008	6698085,035	2449233,724	7,406	
Kev.liik.sillan maatuki itä	16.06.2008	6698115,863	2449290,462	7,149	
Talo etelä	25.06.2008	6698029,935	2449162,816	16,255	
Talo pohjoinen	25.06.2008	6698080,842	2449134,314	15,687	
Ulkorakennus pohjoinen	25.06.2008	6698097,203	2449117,114	14,701	
Kev.liik.sillan maatuki länsi	25.06.2008	6698085,031	2449233,724	7,402	
Kev.liik.sillan maatuki itä	25.06.2008	6698115,862	2449290,457	7,147	
Talo etelä	02.07.2008	6698029,933	2449162,82	16,254	
Talo pohjoinen	02.07.2008	6698080,829	2449134,312	15,686	
Ulkorakennus pohjoinen	02.07.2008	6698097,186	2449117,111	14,7	
Kev.liik.sillan maatuki länsi	02.07.2008	6698085,038	2449233,714	7,395	
Kev.liik.sillan maatuki itä	02.07.2008	6698115,873	2449290,45	7,139	
Talo etelä	08.07.2008	6698029,932	2449162,820	16,254	
Talo pohjoinen	08.07.2008	6698080,829	2449134,312	15,686	
Ulkorakennus pohjoinen	08.07.2008	6698097,189	2449117,116	14,699	
Kev.liik.sillan maatuki länsi	08.07.2008	6698085,039	2449233,715	7,393	
Kev.liik.sillan maatuki itä	08.07.2008	6698115,874	2449290,453	7,138	
Talo etelä	22.07.2008	6698029,938	2449162,824	16,256	
Talo pohjoinen	22.07.2008	6698080,832	2449134,314	15,687	
Ulkorakennus pohjoinen	22.07.2008	6698097,186	2449117,109	14,701	
Kev.liik.sillan maatuki länsi	22.07.2008	6698085,041	2449233,716	7,395	
Kev.liik.sillan maatuki itä	22.07.2008	6698115,868	2449290,453	7,138	
Talo etelä	04.08.2008	6698029,938	2449162,819	16,254	
Talo pohjoinen	04.08.2008	6698080,842	2449134,329	15,687	
Ulkorakennus pohjoinen	04.08.2008	6698097,206	2449117,099	14,698	



Liite 6
Seurantapisteiden mittausraportti

2(6)



ERO Aloitus mittaukseen

X	Y	Z
0,003	-0,005	0,003
0	-0,005	0,003
0	-0,004	0,003
0,014	-0,008	0,001
0,009	-0,001	0

ERO Aloitus mittaukseen

X	Y	Z
0,005	-0,007	0,003
0,005	-0,007	0,003
0,006999999	-0,006	0,003
0,010000001	-0,008	-0,003
0,007999999	-0,006	-0,002

ERO Aloitus mittaukseen

X	Y	Z
0,003	-0,003	0,002
-0,008	-0,009	0,002
-0,01	-0,009	0,002
0,017	-0,018	-0,01
0,018999999	-0,013	-0,01

ERO Aloitus mittaukseen

X	Y	Z
0,002	-0,003	0,002
-0,008	-0,009	0,002
-0,007	-0,004	0,001
0,018	-0,017	-0,012
0,02	-0,01	-0,011

ERO Aloitus mittaukseen

X	Y	Z
0,008	0,001	0,004
-0,005	-0,007	0,003
-0,010	-0,011	0,003
0,020	-0,016	-0,010
0,014	-0,010	-0,011

ERO Aloitus mittaukseen

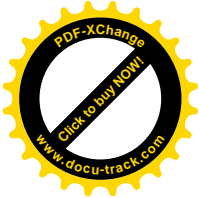
X	Y	Z
0,008	-0,004	0,002
0,005	0,008	0,003
0,010	-0,021	0,000

Huom.
Mittaus sokkialla

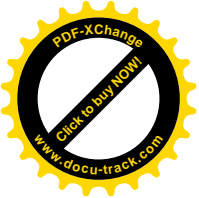


Liite 6 Seurantapisteiden mittausraportti

3(6)

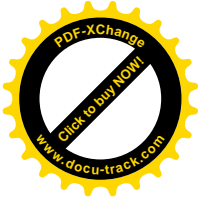


Talo etelä	05.08.2008	6698029,944	2449162,816	16,253	
Talo pohjoinen	05.08.2008	6698080,846	2449134,315	15,686	
Ulkorakennus pohjoinen	05.08.2008	6698097,206	2449117,105	14,696	
Kev.liik.sillan maatuki länsi	05.08.2008	6698085,025	2449233,731	7,391	
Kev.liik.sillan maatuki itä	05.08.2008	6698115,861	2449290,465	7,139	
Talo etelä	07.08.2008	6698029,941	2449162,817	16,252	
Talo pohjoinen	07.08.2008	6698080,837	2449134,312	15,685	
Ulkorakennus pohjoinen	07.08.2008	6698097,204	2449117,102	14,695	
Kev.liik.sillan maatuki länsi	07.08.2008	6698085,022	2449233,736	7,390	
Kev.liik.sillan maatuki itä	07.08.2008	6698115,863	2449290,466	7,137	
Kiertotien sillan palkki	07.08.2008	6698142,669	2449260,092	7,755	305
Kiertotien sillan palkki	07.08.2008	6698133,230	2449242,845	8,651	306
Kiertotien sillan palkki	07.08.2008	6698123,606	2449225,240	9,686	307
Talo etelä	19.08.2008	6698029,940	2449162,820	16,253	
Talo pohjoinen	19.08.2008	6698080,845	2449134,319	15,687	
Ulkorakennus pohjoinen	19.08.2008	6698097,203	2449117,103	14,698	
Kev.liik.sillan maatuki länsi	19.08.2008	6698085,029	2449233,726	7,387	
Kev.liik.sillan maatuki itä	19.08.2008	6698115,863	2449290,462	7,138	
Kiertotien sillan palkki	19.08.2008	6698142,670	2449260,092	7,751	305
Kiertotien sillan palkki	19.08.2008	6698133,234	2449242,845	8,647	306
Kiertotien sillan palkki	19.08.2008	6698123,609	2449225,237	9,682	307
Kev.liik.sillan maatuki länsi	31.08.2008	6698085,013	2449233,696	7,393	
Kev.liik.sillan maatuki itä	31.08.2008	6698115,837	2449290,457	7,136	
Kiertotien sillan palkki	31.08.2008	6698142,664	2449260,082	7,748	305
Kiertotien sillan palkki	31.08.2008	6698133,231	2449242,838	8,645	306
Kiertotien sillan palkki	31.08.2008	6698123,609	2449225,235	9,682	307
Kev.liik.sillan maatuki länsi	03.09.2008	6698085,008	2449233,724	7,394	
Kev.liik.sillan maatuki itä	03.09.2008	6698115,845	2449290,473	7,137	
Kiertotien sillan palkki	03.09.2008	6698142,665	2449260,089	7,748	305
Kiertotien sillan palkki	03.09.2008	6698133,223	2449242,84	8,645	306
Kiertotien sillan palkki	03.09.2008	6698123,597	2449225,231	9,684	307
Talo etelä	10.09.2008	6698029,92	2449162,827	16,254	
Talo pohjoinen	10.09.2008	6698080,842	2449134,325	15,687	
Ulkorakennus pohjoinen	10.09.2008	6698097,211	2449117,133	14,7	
Kev.liik.sillan maatuki länsi	10.09.2008	6698085,008	2449233,724	7,394	
Kev.liik.sillan maatuki itä	10.09.2008	6698115,847	2449290,466	7,138	
Kiertotien sillan palkki	10.09.2008	6698142,665	2449260,088	7,747	305
Kiertotien sillan palkki	10.09.2008	6698133,228	2449242,836	8,644	306



Liite 6
Seurantapisteiden mittausraportti

4(6)



ERO Aloitus mittaukseen

X	Y	Z	
0,014	-0,007	0,001	Huom.
0,009	-0,006	0,002	Mittaus sokkialla
0,010	-0,015	-0,002	
0,004	-0,001	-0,014	Mittaperusta muutettu
			Rakennettu erillinen
0,007	0,002	-0,010	tarkkailupiste

ERO Aloitus mittaukseen

X	Y	Z	
0,011	-0,006	0,000	Huom.
0,000	-0,009	0,001	Mittaus sokkialla
0,008	-0,018	-0,003	
0,001	0,004	-0,015	
0,009	0,003	-0,012	
			Aloitus
			Aloitus
			Aloitus

ERO Aloitus mittaukseen

X	Y	Z
0,010	-0,003	0,001
0,008	-0,002	0,003
0,007	-0,017	0,000
0,008	-0,006	-0,018
0,009	-0,001	-0,011
0,001	0,000	-0,004
0,004	0,000	-0,004
0,003	-0,003	-0,004

ERO Aloitus mittaukseen

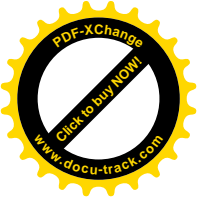
X	Y	Z	
-0,008	-0,036	-0,012	Havaintovirhe
-0,017	-0,006	-0,013	
-0,005	-0,010	-0,007	
0,001	-0,007	-0,006	
0,003	-0,005	-0,004	

ERO Aloitus mittaukseen

X	Y	Z
-0,013	-0,008	-0,011
-0,009	0,010	-0,012
-0,004	-0,003	-0,007
-0,007	-0,005	-0,006
-0,009	-0,009	-0,002

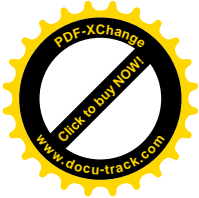
ERO Aloitus mittaukseen

X	Y	Z
-0,010	0,004	0,002
0,005	0,004	0,003
0,015	0,013	0,002
-0,013	-0,008	-0,011
-0,007	0,003	-0,011
-0,004	-0,004	-0,008
-0,002	-0,009	-0,007

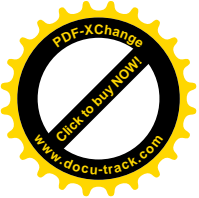


Liite 6 Seurantapisteiden mittausraportti

5(6)

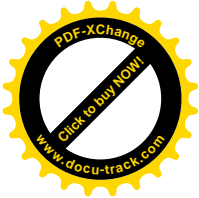


Talo etelä	18.09.2008	6698029,918	2449162,83	16,255	
Talo pohjoinen	18.09.2008	6698080,844	2449134,327	15,688	
Ulkorakennus pohjoinen	18.09.2008	6698097,213	2449117,134	14,698	
Kev.liik.sillan maatuki länsi	18.09.2008	6698085,008	2449233,725	7,392	
Kev.liik.sillan maatuki itä	18.09.2008	6698115,849	2449290,471	7,137	
Kiertotien sillan palkki	18.09.2008	6698142,665	2449260,09	7,745	305
Kiertotien sillan palkki	18.09.2008	6698133,225	2449242,839	8,642	306
Kiertotien sillan palkki	18.09.2008	6698123,598	2449225,229	9,682	307
Talo etelä	02.10.2008	6698029,941	2449162,833	16,255	
Talo pohjoinen	02.10.2008	6698080,851	2449134,313	15,688	
Ulkorakennus pohjoinen	02.10.2008	6698097,215	2449117,104	14,701	
Kev.liik.sillan maatuki länsi	02.10.2008				
Kev.liik.sillan maatuki itä	02.10.2008	6698115,847	2449290,462	7,138	
Kiertotien sillan palkki	02.10.2008	6698142,668	2449260,086	7,746	305
Kiertotien sillan palkki	02.10.2008	6698133,233	2449242,835	8,643	306
Kiertotien sillan palkki	02.10.2008	6698123,609	2449225,223	9,684	307
Talo etelä	13.10.2008	6698029,942	2449162,835	16,255	
Talo pohjoinen	13.10.2008	6698080,852	2449134,32	15,688	
Ulkorakennus pohjoinen	13.10.2008				
Kev.liik.sillan maatuki länsi	13.10.2008	6698085,014	2449233,72	7,402	
Kev.liik.sillan maatuki itä	13.10.2008	6698115,845	2449290,455	7,144	
Kiertotien sillan palkki	13.10.2008	6698142,667	2449260,082	7,751	305
Kiertotien sillan palkki	13.10.2008	6698133,235	2449242,831	8,648	306
Kiertotien sillan palkki	13.10.2008	6698123,614	2449225,22	9,69	307
Talo etelä	31.10.2008	6698029,941	2449162,834	16,254	
Talo pohjoinen	31.10.2008	6698080,855	2449134,33	15,687	
Ulkorakennus pohjoinen	31.10.2008	6698097,221	2449117,123	14,701	
Kev.liik.sillan maatuki länsi	31.10.2008	6698085,018	2449233,72	7,392	
Kev.liik.sillan maatuki itä	31.10.2008				
Kiertotien sillan palkki	31.10.2008	6698142,683	2449260,071	7,747	305
Kiertotien sillan palkki	31.10.2008	6698133,247	2449242,83	8,645	306
Kiertotien sillan palkki	31.10.2008	6698123,627	2449225,217	9,682	307



Liite 6
Seurantapisteiden mittausraportti

6(6)



ERO Aloitus mittaukseen

X	Y	Z
-0,012	0,007	0,003
0,007	0,006	0,004
0,017	0,014	0,000
-0,013	-0,007	-0,013
-0,005	0,008	-0,012
-0,004	-0,002	-0,010
-0,005	-0,006	-0,009
-0,008	-0,011	-0,004

ERO Aloitus mittaukseen

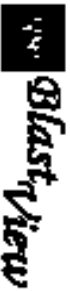
X	Y	Z
0,011	0,010	0,003
0,014	-0,008	0,004
0,019	-0,016	0,003
-0,007	-0,001	-0,011
-0,001	-0,006	-0,009
0,003	-0,010	-0,008
0,003	-0,017	-0,002

ERO Aloitus mittaukseen

X	Y	Z
0,012	0,012	0,003
0,015	-0,001	0,004
-0,007	-0,012	-0,003
-0,009	-0,008	-0,005
-0,002	-0,010	-0,004
0,005	-0,014	-0,003
0,008	-0,020	0,004

ERO Aloitus mittaukseen

X	Y	Z	
0,011	0,011	0,002	Huom!
			Mittaukset
0,018	0,009	0,003	suoritettu
0,025	0,003	0,003	eri lähtöpisteitä
-0,003	-0,012	-0,013	käyttäen.
			Huom!
			Mittaukset
0,014	-0,021	-0,008	suoritettu
0,017	-0,015	-0,006	eri lähtöpisteitä
0,021	-0,023	-0,004	käyttäen.



TÄRINÄMITTAUSRAPORTTI

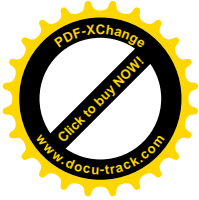
Tue Jan 20 06:26:07 EET 2009

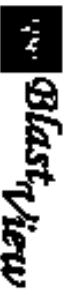
Astakas: Turun tiepiti
 Työ: Halliko
 Työnumero: 2209

Mittari: BE9407
 Sijainti: Valtatie 91
 Mittauspiste: MPI

Mittaus aikal: 2008-06-05
 Mittaus päättyi:

Pvm	AKA	Ampu nro.	Q	Heilautusnopeus (mm/s)			Kiihtyvyy s (g)			Etäisyys (m)	
				raja-arvo	long	trans	raja-arvo	long	trans		vert
2009-01-19	14.40.42			1,16	1,78	0,76		0,116	0,227	0,0365	
2009-01-19	14.40.42			1,16	1,78	0,76					
2009-01-19	06.00.14			0,87	0,94	1,17					
2009-01-18	14.40.42			0,13	0,14	0,43		0,00994	0,0116	0,00829	
2009-01-18	06.00.14			0,35	0,46	0,79		0,0349	0,0590	0,0133	
2009-01-17	14.40.43			1,16	0,98	0,67		0,104	0,118	0,0298	
2009-01-17	06.00.14			0,68	0,75	0,51		0,0646	0,0978	0,0232	
2009-01-16	14.40.39			1,03	1,29	0,65		0,103	0,166	0,0431	
2009-01-16	06.00.14			1,33	1,21	1,05		0,119	0,113	0,0663	
2009-01-15	14.40.42			1,06	1,27	1,16		0,106	0,124	0,0299	
2009-01-15	06.00.14			0,44	0,48	0,91		0,0348	0,0514	0,0497	
2009-01-14	14.43.08			0,22	0,37	0,75		0,00994	0,00994	0,00994	
2009-01-14	06.00.14			0,71	0,46	1,00					
2009-01-13	14.44.12			0,92	1,92	0,75		0,0961	0,277	0,0414	
2009-01-13	06.00.14			0,71	0,60	0,92		0,0166	0,0265	0,0199	
2009-01-12	14.40.37			0,35	0,49	0,79		0,0133	0,0116	0,0133	
2009-01-12	06.00.14			0,51	0,84	1,05		0,0182	0,0215	0,0166	
2009-01-11	14.40.38			0,95	1,56	0,59		0,0911	0,229	0,0348	
2009-01-11	06.00.14			1,19	1,54	0,44		0,118	0,222	0,0431	
2009-01-10	14.40.42			1,33	1,59	0,49		0,136	0,212	0,0399	
2009-01-10	06.00.14			1,51	1,94	0,51		0,144	0,242	0,0414	
2009-01-09	14.40.45			1,35	1,40	0,48		0,143	0,177	0,0381	
2009-01-09	06.00.14			0,81	0,86	0,91		0,0729	0,0945	0,0331	
2009-01-08	14.40.44			1,45	1,40	0,75		0,116	0,177	0,0398	

Liite 7
Tärinämittausraportti

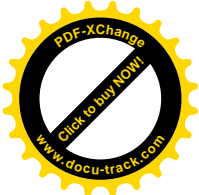
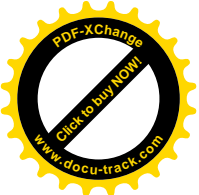


TÄRINÄMITTAUSRAPORTTI

Tue Jan 20 06:28:19 EET 2009

Aistakas: Turun tiepiti
 Työ: Hallikko
 Työnumero: 2209
 Mittari: BE9152
 Sijainti: Valkatie 94
 Mittauspiste: MP2
 Mittaus aikal: 2008-06-05
 Mittaus päättyi:

Pvm	AKa	Ampu nro.	Q	Heilaudusnopeus (mm/s)			Kiihtyvyyt (g)			Eätisyys (m)
				raj-avo	long	trans	raj-avo	long	trans	
2008-01-19	06.00.14			0,70	1,40	1,59				
2009-01-18	06.00.14			0,22	0,40	0,81	0,0215	0,0396	0,0348	
2009-01-17	06.00.14			0,54	0,73	1,11	0,0762	0,0696	0,0282	
2009-01-16	06.00.14			0,91	1,38	1,62	0,113	0,164	0,157	
2009-01-15	06.00.14			1,06	1,52	1,60				
2009-01-14	06.00.14			0,95	1,14	1,65	0,108	0,128	0,159	
2009-01-13	06.00.14			0,49	1,67	2,10	0,0497	0,0945	0,0829	
2009-01-12	06.00.14			0,49	1,03	1,38	0,0514	0,0729	0,0729	
2009-01-11	06.00.14			0,30	0,62	0,86	0,0315	0,0215	0,0365	
2009-01-10	06.00.14			0,13	0,46	0,71	0,0116	0,00994	0,00629	
2009-01-09	06.00.14			0,19	0,51	0,87	0,00994	0,00994	0,00994	
2009-01-08	06.00.14			0,18	0,62	0,94	0,00994	0,0116	0,0149	
2009-01-07	06.00.14			0,27	0,81	1,62	0,0199	0,0265	0,0149	
2009-01-06	06.00.14			0,14	0,46	0,75	0,0199	0,0149	0,0133	
2009-01-05	06.00.14			0,29	0,65	1,00	0,0149	0,0199	0,0149	
2009-01-04	06.00.14			0,14	0,37	0,62	0,0116	0,0116	0,0133	
2009-01-03	06.00.14			0,32	0,56	1,00	0,0481	0,0464	0,0232	
2009-01-02	06.00.14			0,21	0,81	1,17	0,0166	0,0232	0,0265	
2009-01-01	06.00.14			0,21	0,65	1,00	0,0182	0,00829	0,0149	
2008-12-31	06.00.14			0,24	0,70	1,11	0,0182	0,0149	0,00994	
2008-12-30	06.00.14			0,43	1,37	1,64				
2008-12-29	06.00.14			0,22	0,68	1,02	0,0282	0,0232	0,0315	
2008-12-28	06.00.14			0,14	0,67	0,92				
2008-12-27	06.00.14			0,19	0,67	0,89	0,0166	0,00994	0,0133	

Liite 7
Tärinämittausraportti



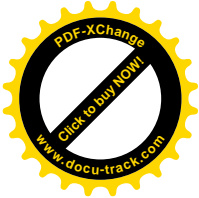
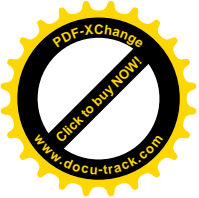
TÄRINÄMITTAUSRAPORTTI

Tue Jan 20 06:29:25 EET 2009

Asiakas:	Turun tiepiiri	Mittari:	BE9381	Mittaus alkoi:	2008-06-06
Työ:	Halkikko	Sijainti:	Valkatie 96	Mittaus päättyi:	
Työnumero:	2209	Mittauspiiri:	MFC3		

Pvm	Aika	Ampu nro.	Q	Heilaudus nopeus (mm/s)			Kilnvyys (g)			Ehdisyys (m)	
				raj-avo	long	trans	raj-avo	long	trans		vert
2008-01-19	06.00.14				0.19	0.21	1.59				
2008-01-19	06.00.14				0.19	0.21	1.59		0.0116	0.0133	0.0199
2008-01-18	06.00.14				0.16	0.22	0.32		0.0149	0.0232	0.0431
2008-01-17	06.00.14				0.16	0.19	0.21		0.0133	0.0199	0.0149
2008-01-16	06.00.14				0.24	0.22	1.22		0.00994	0.0116	0.0249
2008-01-15	06.00.14				0.22	0.24	0.81				
2008-01-14	06.00.14				0.19	0.19	0.64		0.00994	0.00994	0.0182
2008-01-13	06.00.14				0.30	0.35	1.17		0.00829	0.0116	0.0182
2008-01-12	06.00.14				0.25	0.37	1.57		0.0149	0.0133	0.0182
2008-01-11	06.00.14				0.11	0.11	0.25		0.00829	0.00829	0.0149
2008-01-10	06.00.14				0.10	0.13	0.21		0.0133	0.00994	0.0166
2008-01-09	06.00.14				0.10	0.13	0.22		0.0116	0.00829	0.00994
2008-01-08	06.00.14				0.19	0.19	0.29				
2008-01-07	06.00.14				0.19	0.23	0.38		0.0249	0.0331	0.0646
2008-01-06	06.00.14				0.11	0.14	0.21		0.0149	0.0116	0.0199
2008-01-05	06.00.14				0.14	0.14	0.30		0.00994	0.00829	0.0116
2008-01-04	06.00.14				0.14	0.16	0.16		0.0116	0.00994	0.0149
2008-01-03	06.00.14				0.13	0.13	0.25		0.00829	0.00994	0.0199
2008-01-02	06.00.14				0.16	0.21	0.40				
2008-01-01	06.00.14				0.10	0.13	0.24		0.0116	0.00829	0.0182
2008-12-31	06.00.14				0.21	0.18	0.27		0.0182	0.0149	0.0215
2008-12-30	06.00.14				0.18	0.18	0.29		0.0133	0.00994	0.0166
2008-12-29	06.00.14				0.18	0.18	0.29				
2008-12-29	06.00.14				0.13	0.18	0.32		0.0199	0.0232	0.0381

Liite 7
Tärinämittausraportti



Insinööritoimisto
Seppo Rantala Oy

1.5.1
HALIKONJOEN SILTA

LAATUPOIKKEAMARAPORTTI N:O 5

RAKENNEOSA: Päätty- ja välituet
TYÖVAIHE: Teräsputkipaalutus

SELOSTUS LAATUPOIKKEAMASTA:

Paalutustyön aikana havaitut ja tarkemittauksissa esille tulleet laatupoikkeamat:

- paalujen sijaintipoikkeaman toleranssin 100 mm ylityksiä 11 kpl:
 - paalu P1.1 13 mm (113-100 = 13 mm)
 - paalu P1.3 18 mm
 - paalu P2.2 145 mm
 - paalu P2.3 69 mm
 - paalu P2.4 51 mm
 - paalu P3.4 13 mm
 - paalu P4.4 76 mm
 - paalu P5.4 21 mm
 - paalu P6.2 30 mm
 - paalu P6.3 60 mm
 - paalu P6.4 2 mm

- paalujen kaltevuuspoikkeaman toleranssin 20 mm/m ylityksiä 5 kpl:
 - paalu P2.2 2 mm/m (22-20 = 2 mm/m)
 - paalu P2.3 10 mm/m
 - paalu P3.2 5 mm/m
 - paalu P3.4 2 mm/m
 - paalu P5.1 1 mm/m

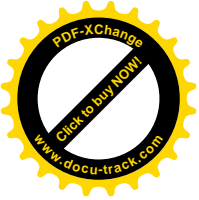
Toimenpiteet poikkeaman johdosta	Vaatii toimenpiteitä		Poikkeaman korjaus			Arvonvähennys	
	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Suunn. lausunto	Kyllä	Ei
Rakenneosan kantavuus * SAP 2.2	X		X		X		X
Sillan käytettävyys * SAP 2.3		X		X			
Rakenteiden säilyvyys * SAP 2.4		X		X			
Sillan ulkonäkö * SAP 2.5		X		X			
Omien töiden laadunohjaus		X					
Alaurakoitsijoiden laadunohjaus		X					

TOIMENPIDESUUNNITELMA:

Pyydetään suunnittelijan lausunnot ja mahdollisille korjaussuunnitelmille hankitaan tilaajan hyväksyntä.

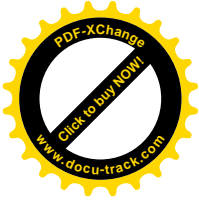
Suunnittelijan lausunnot:

- tuen T2 anturaa pilareineen tulisi siirtää 150 mm mittalinjan suunnassa, sillan kansirakenne mitoitettaisiin toteutuneen tuen mukaisesti
- mittapoikkeamat eivät aiheuta toimenpiteitä tuilla T1 ja T3-T6



Liite 9
PDA - mittausraportti

1(6)



MITTAUSRAPORTTI
081001TRe
Teemu Repo



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Rakennetun ympäristön tiedekunta

SIVU 1/(3+3)

Tulostuspäivä 2.10.2008

Mittaaja:
TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Rakennustekniikan laitos
DI Teemu Repo
Puh. 040 849 0676
Fax. (03) 3115 2965
PL 600
33101 TAMPERE
teemu.repo@tut.fi

Kohde: Halikonjoen silta
Paikkakunta: Halikko

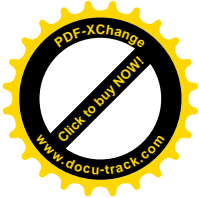
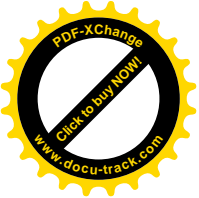
Mittauksen tilaaja: Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy Reino Humalajoki PL 708 33101 Tampere	Paalutusurakoitsija: Auran paalutus Vanha Tampereentie 385 21370 Aura KK
---	--

PDA-MITTAUS

Paalut: P200, P213, P214

Tämän raportin saa kopioida ja luovuttaa kolmannelle osapuolelle ainoastaan kokonaisena.

PL 600, 33101 TAMPERE, Puhelin (03) 3115 2878, Telefax (03) 3115 2965



MITTAUSRAPORTTI
081001TRe
Teemu Repo



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Rakennetun ympäristön tiedekunta

SIVU 2/(3+3)

Tulostuspäivä 2.10.2008

1. Yleistä

Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitos teki kohteessa paalujen iskuaaltomittauksia (PDA) 1.10.2008. Iskuaaltomittauksessa käytetyn laitteiston kaupan nimi on Pile Driving Analyzer®-Model PAK.

Paalut oli upotettu ja koekuormitus suoritettiin Junttan HHK 4 hydraulijärkäleellä (liikkuvan osan massa noin 4000 kg).

Paaluille mobilisoituvaa staattista vastusta arvioitiin CASE-menetelmällä RMX-estimaattia ja vaimennuskerrointa $J_c=0,5$ käyttäen.

2. Mittaukset

Työmaalla koekuormitettiin kolme 300x300 mm² kalliokärjellistä teräsbetonipaalu. Kohteen paalutusluokka on IB ja paalujen maksimikuormat on esitetty taulukossa 1. Mitatut paalut oli upotettu koekuormitus päivän aamuna, jolloin ne toimivat pääosin tukipaaluina.

Paalujen koekuormituksissa paaluihin lyötiin yksittäisiä iskuja käyttäen noin 0,4-0,5 m pudotuskorkeutta. Mittauksissa käytettiin 2 venymäanturia ja 2 kiihtyvyyssanturia.

Taulukossa 1 on esitetty koekuormituksen tulokset ja liitteessä 1-3 paaluista mitatut tyypilliset iskuaaltokuvaajat.

Taulukko 1. Työmaalla koekuormitetut paalut.

n:o	Paalu		Upotus s/10[mm]	Koekuormitus		Jousto [mm]		Paalun kantavuus		
	Pituus	LE [m]		EMX [kNm]	s	DMX	C	Psall	RMX	F[-]
200	12 + 10	20,45	< 3	12,5	0	13,4	13	810	1969	2,4
213	15 + 7	19,65	< 3	10,3	0	12,5	13	810	1824	2,2
214	10 + 11	18,6	< 3	12,2	0	11,7	12	810	2166	2,7

Taulukossa ja liitteissä käytetyt merkinnät:

s/10: Pysyvä painuma 10 lyönnillä upotuksen loppuvaiheessa (pudotuskorkeus ~ 0,35 m), Junttan HHK 4

s: Pysyvä painuma koekuormitusiskulla

C: Jousto koekuormitusiskulla (laskettu vähentämällä PDA-mittauksen DMX-arvosta pysyvä painuma koekuormitusiskulla)

RMX: Mobilisoitunut staattinen vastus RMX estimaattia käyttäen

P_{max}: Paalun maksimikuorma

F: Kokonaisvarmuuskerroin

FMX: Maksimivoima paalussa

EMX: Paaluun siirtynyt energia

CSX: Maksimi puristusjännitys koko poikkileikkauksessa (FMX/AR)

CSI: Suurin hetkellinen puristusjännitys yksittäisen anturin kohdalla

TSX: Maksimi vetojännitys paalussa

VMX: Maksimi nopeus antureiden kohdalla

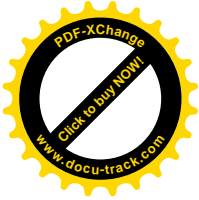
DMX: Suurin siirtymä antureiden kohdalla

FVP: Mitatun voiman ja nopeuden yhtämittaisuus

LE: Antureiden etäisyys paalun kärjestä

AR: Paalun poikkipinta-ala

Tämän raportin saa kopioida ja luovuttaa kolmannelle osapuolelle ainoastaan kokonaisuena.



MITTAUSRAPORTTI
081001TRe
Teemu Repo



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Rakennetun ympäristön tiedekunta

SIVU 3/(3+3)

Tulostuspäivä 2.10.2008

EM: Paalun kimmomoduli
SP: Paalun tilavuuspaino
WS: Aallonnopeus paalussa

F1234 A1234 Käytetyt anturit (F=Force=voima-anturit 1-4kpl , A=Acceleration=Kiihtyvyyssanturit 1-2kpl)

3. Johtopäätökset

3.1. Paalujen kantavuus

Kaikille mitatuille paaluille saatiin mobilisoitua yli kaksinkertainen staattinen vastus paalujen maksimikuor-
maan nähden. Iskuaaltokuvaajien perusteella paalut tukeutuvat erittäin tiukkaan moreeniin tai kallioon.

Paaluille mobilisoituva staattinen vastus ei ollut erityisen herkkä vaimennuskertoimen J_c valinnalle.

3.2. Loppulyöntiehdotus

Mitatut paalut pysähtyivät ($s/10 < 10$ mm) hyvin nopeasti upotuksen loppuvaiheessa. Nyt tehdyt mittaukset
vahvistavat aikaisemmin kohteesta tehtyjä johtopäätelmiä ja tukevat niiden perusteella alla esitettyä loppu-
lyöntiehdotusta, jonka voidaan todeta olevan kohteessa edelleen toimiva:

Mikäli kohteen paalut toteuttavat LPO 2005 luokan IB mukaiset loppulyöntikriteerit, voidaan paalujen lyönti
lopettaa tai mikäli paalujen painuma alittaa 10 mm/iskusarja voidaan lyönti lopettaa välittömästi paalujen
vaurioitumisriskin vuoksi.

Loppulisen päätöksen paaluille sallittavista kuormista, paalupituuksista ja loppulyöntiehdosta tekee kohteen
vastaava pohjarakennesuunnittelija tai kohteen pohjarakenteiden asiantuntijavalvoja

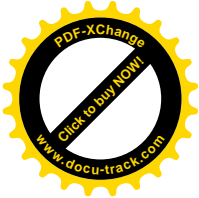
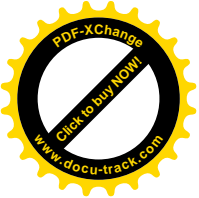
Tampereella 1.10.2008

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Rakennustekniikan laitos

Teemu Repo
Tutkija DI

Liitteet: Paaluista mitatut tyypilliset iskuaaltokuvaajat 3 s.

Tämän raportin saa kopioida ja luovuttaa kolmannelle osapuolelle ainoastaan kokonaisena.



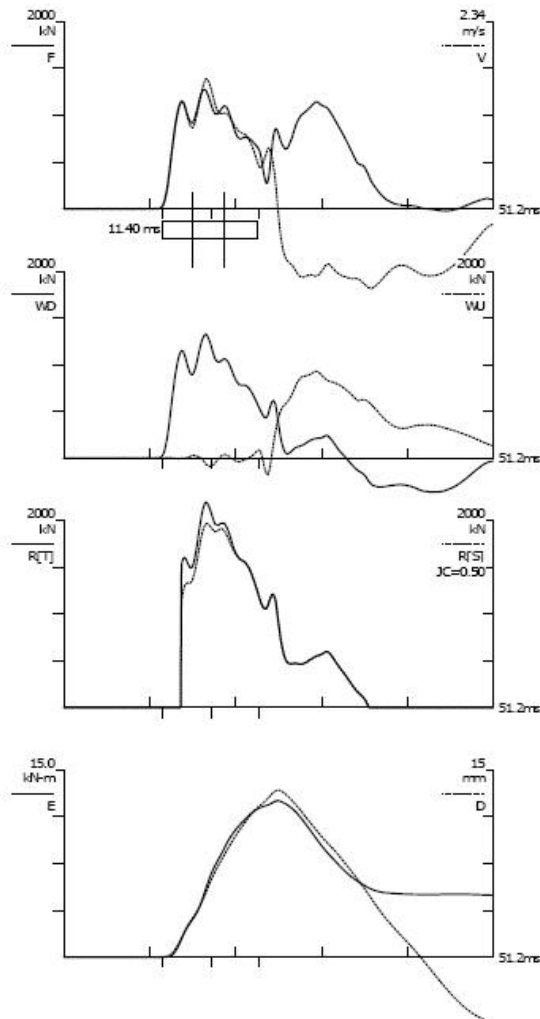
Tampere University of Technology

Halikonjoen silta
PDA CP: TRa

FILE DRIVING ANALYZER ®

Version 2004.096
P200

Junttan HHK 4

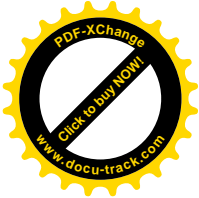


EN 18
1.10.2008 11:44:34
FHX 1276 kN
RHX 1989 kN
CSX 14.2 MPa
CSL 17.3 MPa
CSB 19.7 MPa
VHX 1.63 m/s
DHX 13 mm
EHX 12.5 kN-m
FHP 1.0 []

LE 20.4 m
AR 900.00 cm²
EM 36076 MPa
SP 24.5 kN/m³
WS 3000.0 m/s
EAC 854 kN-s/m

F12 A12

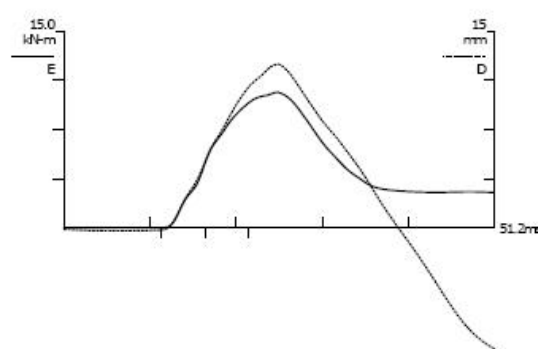
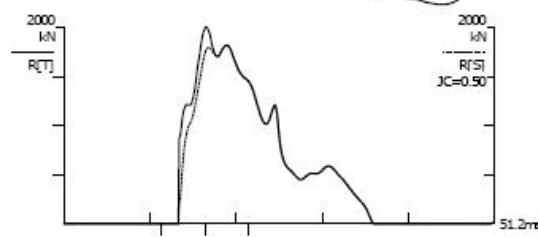
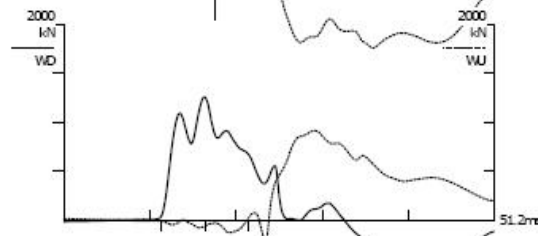
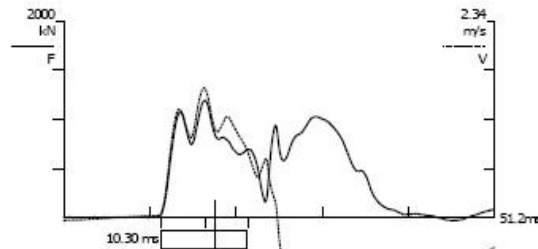
F1: [8553] 96.3 (1.03)
F2: [9128] 92 (1.03)
A1: [88706] 1101 a/s/v (0.97)
A2: [16191] 1040 g/s/v (0.97)



Tampere University of Technology

Halikonjoen silta
PDA OP: TRa

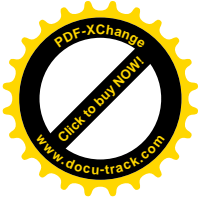
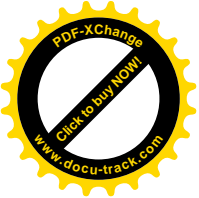
FILE DRIVING ANALYZER ©
Version 2004.096
P213
Junttan HHK 4



BN 8
1.10.2008 11:30:31
F1X: 1195 kN
R1X: 1021 kN
CSX: 13.3 MPa
CSJ: 22.7 MPa
CSB: 18.7 MPa
V1X: 1.55 m/s
D1X: 12 mm
E1X: 10.3 kN-m
P1P: 1.0 []

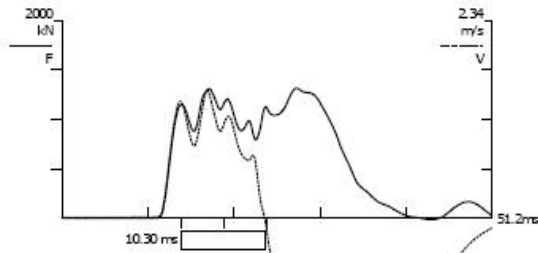
LE: 19.6 m
AR: 900.00 cm²
E1: 36076 MPa
SP: 24.5 kN/m³
WS: 3000.0 m/s
E1VC: 894 kN-s/m

F12: A12
F1: [8953] 96.3 (1.03)
F2: [9128] 92 (1.03)
A1: [88706] 1101 g/s/v (0.97)
A2: [16191] 1040 g/s/v (0.97)

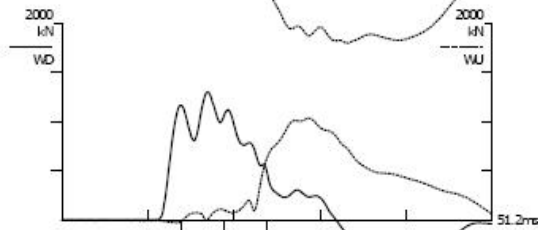


Tampere University of Technology
Halikonjoen silta
PDA CP: TRa

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2004.096
P214
Junttan HHK 4

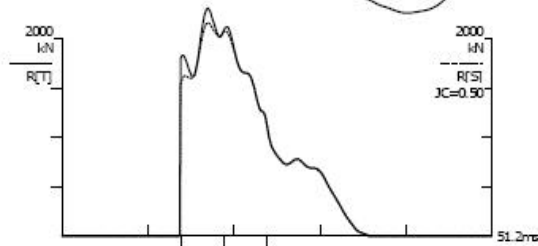


BN 12
1.10.2008 11:56:46
F/K 1313 kN
R/K 2166 kN
CS/K 14.6 MPa
CS 21.7 MPa
CSB 16.4 MPa
V/K 1.32 m/s
D/K 12 mm
E/K 12.2 kN-m
FUP 1.0 []



F12 A12

F1: [8553] 96.3 (1)
F2: [9128] 92 (1)
A1: [88706] 1101 g/s/v (1)
A2: [16191] 1040 g/s/v (1)



JC=0.50

