

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Joni Juhani Nikko

LOUHINTATÄRINÄN ETENEMINEN  
BETONIRAKENNUKSISSA

Tekniikka ja liikenne

2009

## ALKUSANAT

Koska työskentelen louhinta-alalla, oli minulle luontevinta etsiä alaani liittyvä opinnäytetyön aihe. Omasta yrityksestä en aihetta löytänyt, joten otin yhteyttä tuttuun louhintakonsulttiyritykseen Kalliotekniikka Consulting Engineers Oy:hyn. Sieltä alan ammattilainen Juha Skogman ehdotti tutkimusta siitä, miten louhintätärinä leviää rakennuksissa. Tavoitteena oli saada tietoa tärinän leviämisestä paikalla valetusta ja elementtirakenteisesta betonirunkoisesta rakennuksesta. Vastaavasta tutkimuksesta emme löytäneet viitteitä. Tutkimuksen tuloksia voitaisiin käyttää hyödyksi asutuskeskuslouhintatyömailla.

Suuri kiitos kuuluu kalliotekniikan henkilökunnalle ja mittauskohteiden kiinteistön edustajille tutkimustyön onnistumisesta.

Mitattaviksi kohteiksi valittiin kyseisenä ajankohtana työn alla olevia kalliorakennuskohteita, joista uskottiin saatavan useita mittaustuloksia ja jotka olivat Kalliotekniikan konsultointikohteita. Mittaukset suoritettiin Kalliotekniikan omistamilla Instantel-tärinämittareilla, joiden lukumäärä vaihteli hyllytilanteen mukaan, jottei Kalliotekniikalle aiheutuisi ongelmia omissa töissään. Yhden mittausjakson pituus oli yhdestä kahteen viikkoa.

Tuloksia saatiin kolmesta eri rakennuksesta, joista yksi oli elementtirakenteinen ja kaksi paikalla valettuja rakennuksia. Kaikki ovat kallioperusteisia ja louhintatyöt olivat tunnelinlouhintaa rakennusten alapuolella. Rakennukset sijaitsevat Helsingissä.

Tässä opinnäytetyössä esitetään tutkimustyön eteneminen ja saadut tutkimustulokset mahdollisimman tarkasti kohteittain.

## VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

## Rakennustekniikan koulutusohjelma

**TIIVISTELMÄ**

Tekijä	Joni Nikko
Opinnäytetyön nimi	Louhintatärinän eteneminen betonirakennuksessa
Vuosi	2009
Kieli	suomi
Sivumäärä	33 + 2 liitettä
Ohjaaja	Martti Laaja

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia louhintatärinän muuttumista ja etenemistä betonirakennuksessa. Tutkimus suoritettiin useiden tärinämittareiden avulla. Mittauksia suoritettiin kolmessa eri rakennuksessa. Tärinämittarit olivat rakennuksissa eri kerroksissa, eri pystylinjoina. Kaikissa oli meneillään tunnelin louhintatyö rakennuksen alapuolella.

Alkuun olen kerännyt eri lähteistä taustatietoa louhintatärinästä ja sen ominaisuuksista. Tulosten tarkastelu rajattiin heilahdusnopeuden vertailuun, mukana on heilahdusnopeuden kolme eri komponenttia. Vertailu tapahtuu pystysuunnassa olevien mittapisteiden kesken. Tuloksista tein taulukot ja kaaviot, joiden kuvaajista on helpoin nähdä tärinän muutos. Tulokset osoittavat, että tärinän muuttuminen oli erilaista eri kohteissa. Pääsääntöisesti tärinä vaimenee kerrosluvun kasvaessa. Seinissä tärinä voi voimistua joka puolella rakennusta. Kantavissa pilareissa voimistumista tapahtui vain alimmissa kerroksissa ja lähellä räjäytyspaikkaa. Ulkoseinäelementeissä tärinä vaimentui lähes täysin.



## SISÄLLYS

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	6
2 TUTKIMUSTYÖN TAVOITTEET	7
3 LOUHINTATÄRINÄ JA SEN VAIKUTUKSET	9
4 TÄRINÄN MITTALAITTEET JA MENETELMÄT	13
4.1. Mittalaitteet	13
4.2. Mittausmenetelmät	14
5 TUTKIMUSKOHTEET JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	15
5.1. Meiran tehdasrakennus	15
5.2. SOK:n toimistorakennus	16
5.3. City-Center	18
6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	20
6.1. Heilahdusnopeus	21
6.1.1. Meiran tehdasrakennus	21
6.1.2. SOK:n toimistorakennus	26
6.1.3. City-Center	28
6.2. Aikahistoria	30
7 YHTEENVETO	31
LÄHDELUETTELO	33

## 1 JOHDANTO

Louhintätärinän leviäminen ympäristöön voi aiheuttaa rakennusten hajoamista, siksi sitä mitataan ja tutkitaan. Normaalisti tärinää mitataan perustuksista tai paikasta, jossa sijaitsee jotain tärinälle herkkää, esimerkiksi sähkömuuntaja tai serverikeskus.

Louhinnan aiheuttama rakenteiden hajoaminen jakautuu neljään pääryhmään. Ensimmäinen on pysyvä maan siirtyminen, joka aiheutuu räjäytyksessä syntyneistä kaasuista. Toinen on perustusten painuminen tärinän vaikutuksesta. Kolmas on suora isku, esimerkiksi lentävä lohkare. Neljäs on tärinän tai ilmanpaineen aiheuttama rakennusmateriaalin halkeilu. (Dowding 1996: 104)

Suurin ja yleisin haitta on tärinän aiheuttama halkeilu. Rakenteen halkeamiskynnykseen vaikuttaa rakenteen materiaali ja paikka sekä rakenteen sisäiset jännitykset. Yleensä tärinästä syntyvät halkeamat ovat kosmeettisia, eivätkä heikennä rakenteita. (Dowding 1996: 105)

Rakennuksissa tehdään ennakkokatselmoinnit ennen louhintatöiden aloitusta. Katselmoinnissa läheisten kiinteistöjen kunto tarkistetaan ja dokumentoidaan huolellisesti. Samalla selvitetään tärinäherkkien laitteiden vaatima suojaus. Tärinää aiheuttavien töiden päätyttyä tarkastetaan mahdollisesti aiheutuneet vauriot.

Kaikki rakennukset sisältävät kosmeettisia halkeamia, ne ovat ns. hiushalkeamia, joita syntyy ajan myötä ilman tärinän vaikutusta. Kaikkien hiushalkeamien karvoittaminen katselmusvaiheessa on vaikeaa ja työlästä. Koska rakenteet halkeavat itsestään, on tärkeää tutkia ennen ja jälkeen louhintatyötä läheiset rakennukset.

Ihmiset ovat herkempiä tärinälle kuin rakenteet. Toisin sanoen ihmiset tuntevat pienenkin louhintätärinän ja pitävät sitä häiritsevänä ja jopa vaarallisena. (Dowding 1996: 104)

## 2 TYÖN TAVOITTEET

Päätavoite oli tutkia louhintatärinän muuttumista ja käyttäytymistä betonirunkoissa rakennuksissa useiden tärinämittareiden avulla. Normaalitilanteessa mittari on ainoastaan rakennuksen perustuksissa ja mahdollisimman lähellä räjäytyskohdetta. Tavoitteena olikin tutkia sitä, kasvaako vai heikkeneekö tärinä isoissa rakennuksissa ylemmistä kerroksista mitattuna ja kuinka tärinän luonne muuttuu. Normaalisti etäisyyden kasvaessa tärinä vaimenee, mutta on mahdollista, että interferenssin eli aaltojen yhteisvaikutuksen tai resonanssin vaikutuksesta tärinä kasvaa.

Pysty- ja vaakakomponenttien suhteen muutosta pitää myös tarkastella, koska nykynormeissa raja-arvona käytetään pelkästään heilahdusnopeuden pystykomponenttia, joka on tavallisesti suurin komponentti. Etäisyyden kasvaessa ja mitta-  
uspaikan muuttuessa toinen tai molemmat vaakakomponentit voivat olla suurempia. Lisäksi on käyty keskustelua siitä, että uusissa louhinta-alan normeissa, jotka ovat jo työn alla, raja-arvona käytettäisiin kaikkien kolmen komponenttien heilahdusnopeuksia.

Rakennusten ominaisjaksoluku eli ominaistaajuus on alhainen, alle 30 Hz. Jos tärinän taajuus laskee lähelle rakennuksen tai rakenteen ominaisjaksolukua voi syntyä resonanssia ja tärinä voimistuu. Myös tärinäaaltojen yhteisvaikutus voi johtaa voimistumiseen. Kun ajatellaan betonirunkoista rakennusta, on tärinäaalloilla monta eri reittiä edetä isossa rakennuksessa. Tämä voisi johtaa siihen, että samaan aikaan lähteneet aallot voisivat voimistua kohdatessaan kauempana tärinälähteestä.

Tutkimustuloksia tulisi voida käyttää hyödyksi käytännössä asutuskeskuslouhinnassa ja tutkimuksen voi liittää osaksi olemassa olevaa tilastotietoutta louhintatärinäistä. Uusien louhinta-alan normien tekeminenkin on työn alla, joten tutkimusta voitaisiin hyödyntää myös normien laadinnassa.

Rakennuksissa voi sijaita erilaisia tärinäherkkiä laitteita ja niissä on normaalisti paljon pienemmät tärinäraja-arvot kuin rakennuksissa. Rakennuksissa voi myös

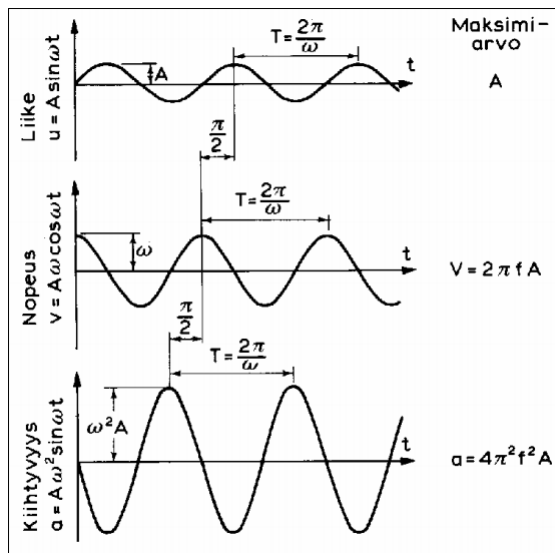
olla eri paikoissa eri rakennusmateriaaleja, jotka voivat olla alttiimpia tärinän aiheuttamille vaurioille kuin toiset. Tätä tukimusta voi hyödyntää arvioidessa tärinän suuruutta eri puolilla rakennuksia.

### 3 LOUHINTATÄRINÄ JA SEN VAIKUTUKSET

Louhintatärinää on tutkittu jo yli 50 vuotta, joten siitä on runsaasti tietoa ja näihin tutkimuksiin perustuu rakennusten tärinänkestävyyden raja-arvomittoitus. (Vuolio 1991: 170)

Ympäristö vaikuttaa suuresti louhintatyön kustannuksiin louhintakohteesta leviävän tärinän takia. Tämä tarkoittaa sitä, että räjäytyspanoksen kokoa on pienennettävä mitä lähempänä rakennusta louhitaan. Panoksen pienentäminen taas tarkoittaa porauksen tihenemistä ja pengerkorkeuden pienenemistä, sitä kautta kerralla irrotettava louhemääräkin on pienempi. Edellä mainitut asiat voivat nostaa louhintakustannuksia huomattavasti.

Vaikkei heilahdusliike luonnossa lähes koskaan ole täysin sinimuotoista, voidaan räjäytyksen aiheuttamaa kalliotärinää käytännön vaatimissa tarkkuuksissa pitää ”siniheilahduksena”. Kuvassa 1 on esitetty harmonisen heilahduksen muoto ja kalliotärinän tarkkailussa käytettyjä kaavoja. (Vuolio 1991: 165)



Kuva 1. Sini-muotoinen harmoninen heilahdus. (Ruuth 2006: 17)

$A$  = amplitudi (mm)

$T$  = jakson aika (s)

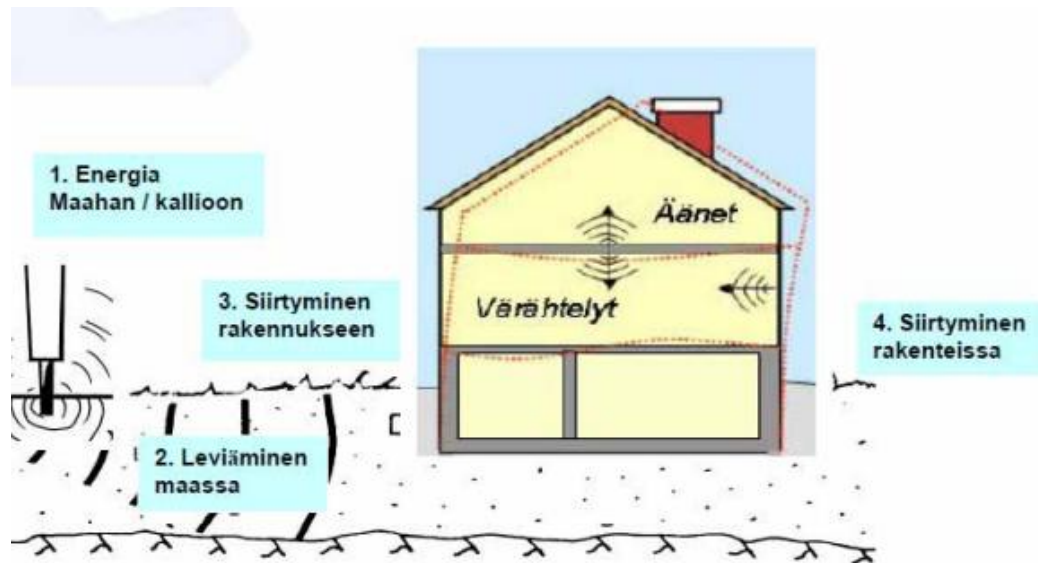
$\omega$  = kulmafrequenssi =  $2\pi f$

$f$  = frekvenssi (Hz)

$v$  = heilahdusnopeus (mm/s)

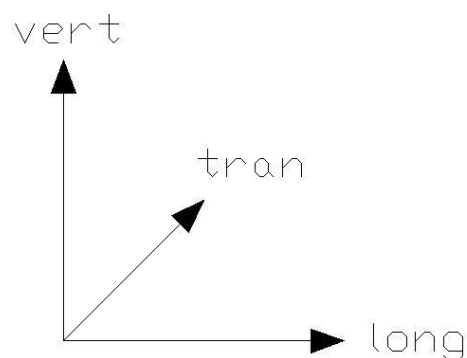
$a$  = kiihtyvyys ( $m/s^2$ )

Mekaaninen aaltoliike tarvitsee aina väliaineen. Tärinä-aallot etenevät eri nopeudella topografiasta sekä maa- ja kalliolajista riippuen. Räjähdyksessä kallioon muodostuu jännitysaaltoja, jotka aiheuttavat, paitsi kiven irtoamisen, myös väliaineessa massapartikkelien siirtymistä eli tärinää. Tärinäaallot voivat edetä väliaineessa kolmella eri tavalla. Ne voivat edetä suoraviivaisesti, tai kohdatessaan vapaan pinnan, joko heijastua tai taittua. (Vuolio 1991: 165)



Kuva 2. Tärinän leviäminen ympäristöön. (TTY 2009: 12)

Suomessa käytetään rakennusten tärinäraja-arvona pystykomponentin huippuarvon heilahdusnopeutta ( $v$ ), jonka suuruus riippuu rakennuksen ja räjäytyspaikan välisestä etäisyydestä ja maaperästä, jolle rakennus on perustettu. Joissain muissa maissa, kuten USA:ssa, käytetään kolmen eri komponentin heilahdusnopeutta ja taajuutta raja-arvomenettelyssä. Mittaustuloksissa ovat kaikki kolme komponenttia, kuvassa 3 näkyvät komponenttien suunnat.



Kuva 3. Louhintätärinän aiheuttaman aaltoliikkeen komponenttien kolme eri suuntaa.

1990-luvun alusta on Suomessa käytetty nykyisiä raja-arvonormeja, jotka perustuvat pystykomponentin heilahdusnopeuden huippuarvoon, sidottuna etäisyyteen ja rakennelaatuun. Etäisyyden kasvaessa suodattuvat taajuuden korkeat jaksoluvut pois, joten etäisyyden kasvaessa sallittu heilahdusnopeus pienenee. (Vuolio & Paavola 2008)

Vaikka värinäräja-arvona pidetään pystykomponentin heilahdusnopeutta, nykyaikaisilla mittareilla saadaan rakennuksista ja laitteista mitattua heilahdusnopeus (mm/s), kiihtyvyyttä ( $m/s^2$ ) siirtymä (mm) ja taajuus (Hz) kolmeen eri suuntaan.

Värinäherkkien laitteiden värinäräja-arvona käytetään laitevalmistajilta saatavia arvoja, jotka ovat kiihtyvyyden huippuarvo (a), siirtymä (u) ja taajuus (f). Jos siirtymä on yli 0,1mm, se on havaittu olevan vaaraksi myös rakenteille.

Yleisimmin louhintakohteiden läheisyydessä varottavia laitteita ovat tietokoneet, serverit ja muuntajat. Niissä pahin taajuusalue on 60 - 300 Hz, joten niiden taajuuskestävyys on päinvastainen kuin rakenteiden (Vuolio 1991: 173).

Rakenteille aiheutuvien vaurioiden kannalta merkittävin tekijä on värinän taajuus. Heilahdusnopeus kuten myös taajuus alenee etäisyyden suhteen. Taajuuden ollessa pieni, on rakenteen vaurioitumisriski suurimmillaan (riippuen heilahdusnopeudesta). Suurilla taajuuksilla rakenteen vaurioitumisriski pienenee merkittävästi, vaikka heilahdusnopeus pysyisi samana. Asian voi ymmärtää siten, että nopeasti värähtelevään värinään eivät painavat rakenteet ”ehdi” niin helposti mukaan. (Ruuth 2006: 25)

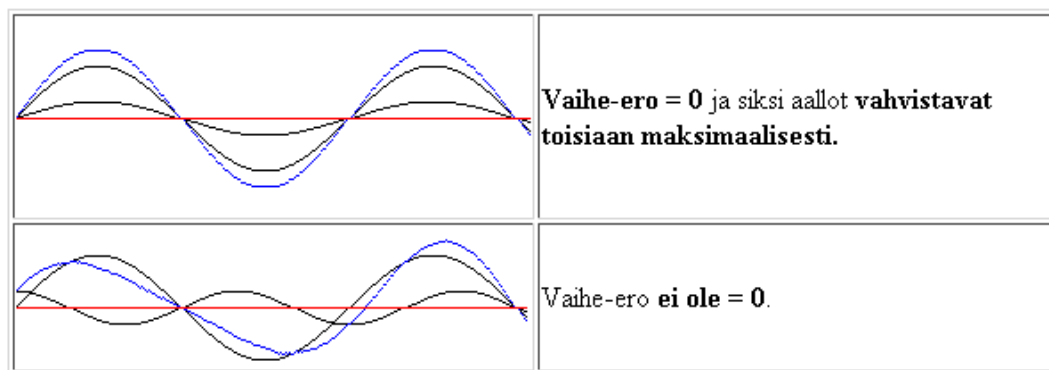
Värinän taajuudella on suuri vaikutus, pienitaajuuksinen värinä on vaarallisempaa rakennuksille kuin korkeataajuuksinen värinä. Asuinrakennus reagoi vähemmän 12 mm/s:n värinään, joka on taajuudeltaan 80 Hz kuin 10 Hz. Siitä johtuen 10 Hz taajuus hajottaa rakenteen todennäköisemmin kuin 80 Hz taajuus. (Dowding 1996: 4)

Resonanssia aiheutuu, jos rakenteeseen tulevan värinän taajuus on sama kuin rakenteen ominaistaajuus. Resonanssin seurauksena voi värinä jopa kuusinkertaistua (TTY 2009: 16). Värähtelyn kasvaminen edellyttää myös, että rakenteen muoto

vastaa tärinän suuntaa. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että välipohja värähtelee helpommin pystysuunnassa ja seinät vaakasuunnassa.

Louhintatärinässä taajuussisältö on laaja ja rakenteilla on useita eri ominaistajuuksia joten on selvää, että jossain vaiheessa taajuus on myös rakennuksen ominaistajuuksialueella (TTY 2009: 9). Tämä ei kuitenkaan vielä aiheuta varsinaista resonanssia rakenteeseen, mutta saattaa hieman voimistaa tärinää.

Aaltoliikkeiden yhteisvaikutusta kutsutaan interferenssiksi (kuva 4). Kun aaltojen poikkeamat ovat samansuuntaiset, tärinä vahvistuu. Vastaavasti jos poikkeamat ovat vastakkaisuuntaiset, tärinä heikkenee. (Vuolio 1991: 185)



**Kuva 4. Aaltoliikkeen yhteisvaikutus.**

Vaikka tärinälähteiden välillä olisi etäisysero mittauspisteeseen nähden, voivat aallot saapua mittauspisteeseen samaan aikaan, jos kauempaa lähteneellä aallolla on suurempi etenemisnopeus kuin lähempää lähteneellä. Luonnollisesti myös tässä tapauksessa tärinä voimistuu. (Ruuth 2006: 23)

Ilman tärinää voimistavia tekijöitä etäisyyden kasvaessa tärinä vaimenee kitkan vaikutuksesta. Tärinän energia muuttuu kitkan ansiosta lämmöksi. Tärinä vaimenee myös hitausvoiman vaikutuksesta, eli massiivinen rakenne vastustaa tärinää kevyttä paremmin.

## 4 TÄRINÄN MITTALAITTEET JA MENETELMÄT

### 4.1. Mittalaitteet

Mittaukset suoritettiin Kanadassa valmistetuilla ja Kalliotekniikan omistamilla Instantel Minimate Plus tärinämittareilla. Ne ovat kolmikomponenttimittareita, eli niillä saa mitattua heilahduksen kolmeen eri suuntaan. Mittarilla saa mitattua tärinän heilahdusnopeuden (mm/s), kiihtyvyyden (g), taajuuden (Hz) ja amplitudin (mm) joka komponentille. Instantelistä saa tulostettua tärinästä mittausraportin Blastware tietokoneohjelmalla, jossa näkyy jokaisen komponentin aikahistoria ja taajuuskäyrä (Liite 2). Mittarit on kalibroitu uutena, jonka jälkeen kalibrointia ei ole tehty, koska Suomen lainsäädännössä sitä ei vaadita. Mittarissa on erillinen rakenteeseen kiinnitettävä anturi joka propataan kiinni (kuva 2).



**Kuva 5. Tärinämittari betonipilarissa City-Centerissä**

Instantel tärinämittarin mittausalue on 0 – 254 mm/s, mikä on riittävä, koska pohjoismaiden normien mukaan suurin sallittu heilahdusnopeus on luokkaa 140 mm/s. Mittarin resoluutio, eli erottelukyky, on 0,127 mm/s ja tarkkuus on +/-5% tai 0,5 mm/s. Taajuusalueeksi tehdas ilmoittaa 2-250 Hz vaikkakin yli 100 hertsin

taajuudet se ilmoittaa vain  $>100$  Hz, mikä on harmillista tutkimuksen kannalta. Ulkomitat ovat  $81 \times 91 \times 160$  mm ja paino on 1,4 kg.

#### 4.2. Mittausmenetelmät

Tärinämittaus tehdään erilaisten tärinämittareiden avulla. Mittarit ovat joko yksikomponenttimittareita, jotka mittaavat vain pystysuuntaista heilahdusta, tai kolmikomponenttimittareita. Ne mittaavat heilahdusta pystysuunnan lisäksi kahteen vaakasuuntaan. Mittarissa voi olla yksi tai useampia antureita, riippuen mitattavien komponenttien määrästä ja mittarin valmistajasta. Anturi voi olla ulkoinen, joka kiinnitetään rakenteeseen, tai sisäänrakennettu, jolloin koko mittari kiinnitetään rakenteeseen.

Louhinnassa tärinämittarit sijoitetaan yleensä mahdollisimman lähelle tärinälähdettä, mutta ei kuitenkaan normaalisti alle 10 metrin etäisyydelle räjäytyksestä. Tämä siksi, että räjäytyksen läheisyydessä tärinä voi olla paikallisesti huomattavasti yli raja-arvon, mutta silti se ei ole vaaraksi rakenteelle.

Tärinää mitataan tärinälähteen ympäristöstä monesta eri suunnasta, koska on vaikea arvioida maaperän tärinänjohtavuutta ja siten tietää eri rakennuksiin tulevaa tärinän suuruutta. Mittari sijoitetaan perustuksiin tai sellaiseen paikkaan, jossa on jotain tärinälle herkkää. Mittari voidaan myös kiinnittää suoraan tärinäherkän laitteen runkoon. Asutuskeskuslouhintatyömaalla on yleensä useita tärinämittauspisteitä. Tärinämittaustulokset tarkastetaan jokaisen räjäytyksen jälkeen ja tulokset kirjataan räjäytyssuunnitelmaan tai -raporttiin. Tulokset voi saada myös Internetin kautta tai puhelimeen tekstiviestinä, jos mittareissa on langaton modeemi.

## 5 MITTAUSKOHTEET

### 5.1 Meiran tehdasrakennus

Mittauskohde sijaitsee Helsingissä Aleksis Kiven kadulla, rakennus toimii Meiran tehdasrakennuksena. Se on rakennettu 1930-luvulla ja runko on massiivibetonirunko, pilarit ovat halkaisijalta 0,9 metriä ja laatan paksuus on 0,5 metriä. Rakennuksessa on yksi kellarikerros, 6 maanpäällistä kerrosta ja ullakko, kerrokorkeus on 3,5 metriä.

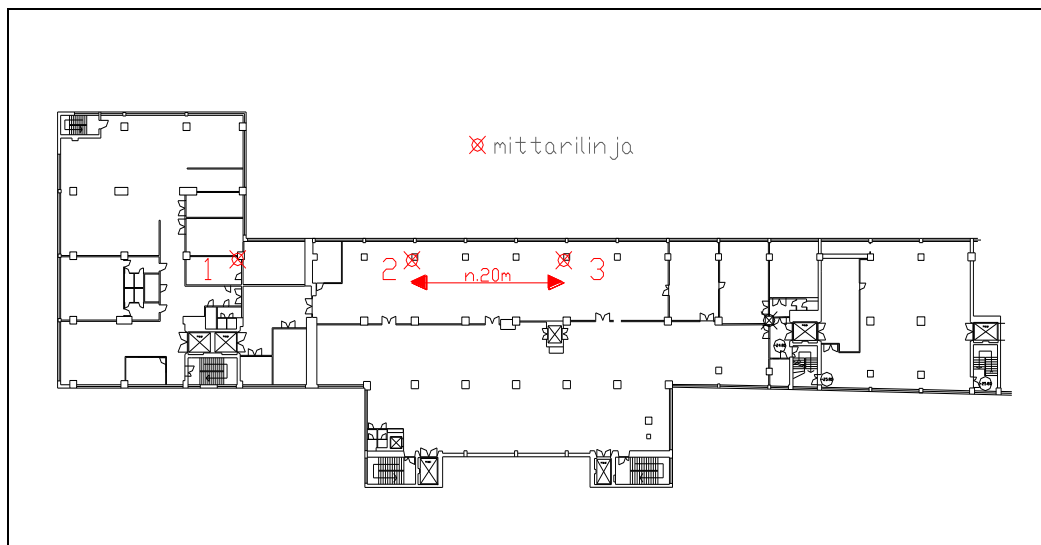
Täällä saatiin rekisteröityä värinät kuudesta eri räjäytyksestä, joiden paikat selviävät kuvasta 7.

Louhintakohde oli rakennuksen alla, jossa oli rakenteilla Pohjois-Flemin Pysäköintilaitos. Urakoitsijana toimi Kalliorakennus Oy.

Tässä kohteessa mittarit sijoitettiin kantaviin pilareihin, joiden linjat kulkivat koko rakennuksen läpi (kuva 6). Mittauspisteitä oli 15 kappaletta, kussakin kerroksessa oli kolme mittaria ja kerroksia oli viisi. Vaakasuunnassa mittareiden etäisyys toisistaan oli 20 metriä. Pystysuunnassa mittarit olivat kellarissa, toisessa, kolmannessa, viidennessä ja seitsemännessä kerroksessa. Pystysuunnassa mittareiden etäisyydet olivat kellarista ylöspäin lueteltuna: 7,0 m, 10,5 m 17,5 m ja 24,5 m. Etäisyyksissä voi olla heittoa noin 1,0 metriä.

Seitsemännessä kerroksessa pilarit olivat koteloituja, joten mittareiden paikat piti etsiä muualta. Täällä keskimäinen mittari laitettiin hissikuilun seinään ja viimeinen mittari tiilirakenteiseen väliseinään.

Tarkoitus oli laittaa ensimmäinen linja suoraan sen hetkisen louhintakohdan päälle, mutta kyseisestä paikasta saatiin väärää tietoa ja keskilinja tuli lähimmäs louhintakohtaa, kuten kuvasta 7 selviää. Kuvassa 6 näkyvät mittarilinjat tarkemmin.



**Kuva 6. Mittarilinjat Meiran tehtaassa.**

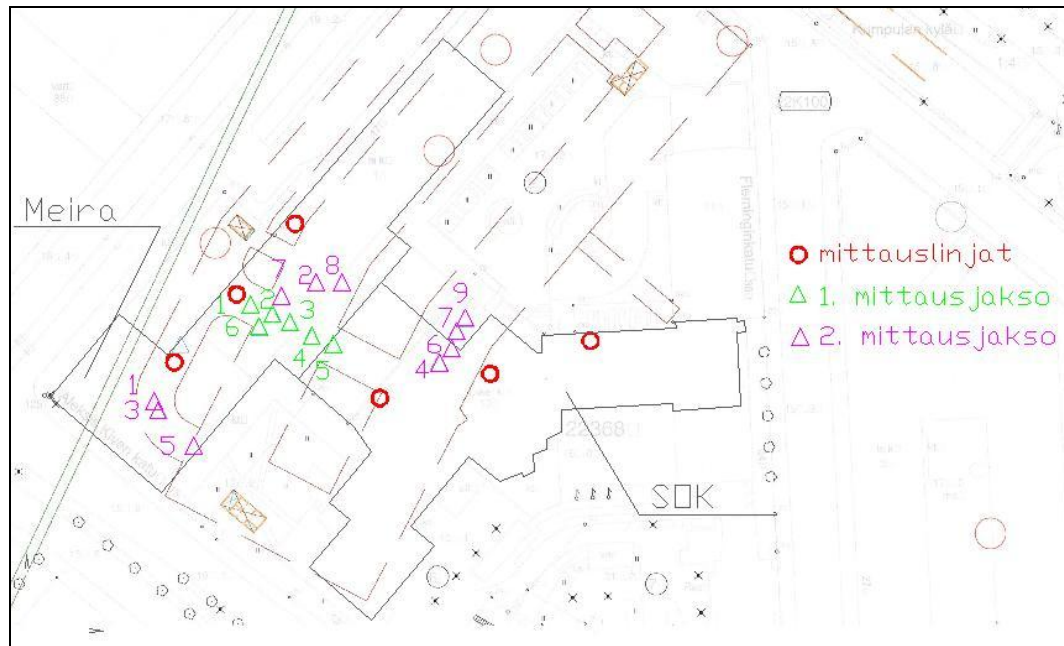
## 5.2 SOK:n toimistorakennus

Mittauskohde sijaitsee Helsingin Vallilassa Fleminginkadulla, se on SOK:n toimistorakennus, joka on rakennettu 1980-luvun lopulla. Rakennuksessa on kaksi kellarikerrosta ja seitsemän maanpäällistä kerrosta. Rakennus on tehty betonielementeistä. Rakennuksen jäykistävä hissikuilu on todennäköisesti paikalla valettu. Runko on pilari-palkki-rakenteinen ja välipohjat ovat ontelolaatasta. Ulkoseinät ovat sandwich-elementeistä.

Louhintatyömaa oli Pohjois-Flemarin pysäköintilaitos, eli sama kuin edellisessä kohteessa.

Täällä mittareiden sijoitus oli melko hankalaa, koska ensimmäisestä kerroksesta ylöspäin pilarit olivat koteloituja ja kunnan pohjapiirustukset puuttuivat. Mittarilinjojen vaakasuuntainen etäisyys oli noin 25 metriä. Mittauspisteiden etäisyydet pystysuunnassa alhaalta ylöspäin olivat 3,5 m, 10,5 m, 17,5 m ja 28,0 m. Mittauspisteitä oli 15 kappaletta, joiden tarkat paikat selviävät taulukosta 1.

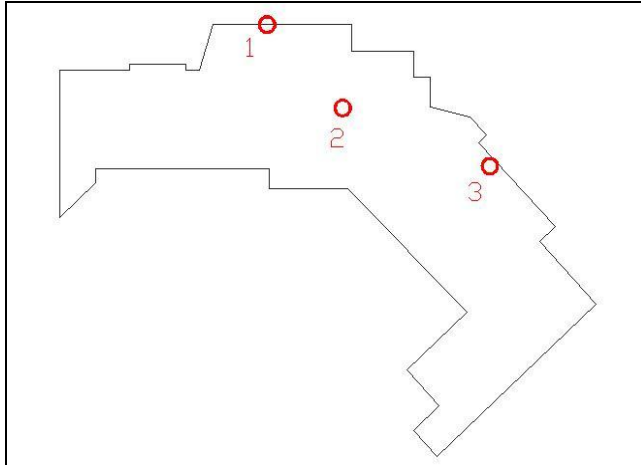
Tarkka pystylinja onnistui ainoastaan keskimmaisessä linjassa, siinä mittarit olivat porraskuilun seinässä. Ensimmäisessä pystylinjassa kellarikerrosten ja maanpäällisten kerrosten mittauspisteiden vaakasuuntainen heitto oli 5-10 metriä (kuvat 8 ja 9). Kolmannessa pystylinjassa kyseinen heitto oli 0-4 metriä.



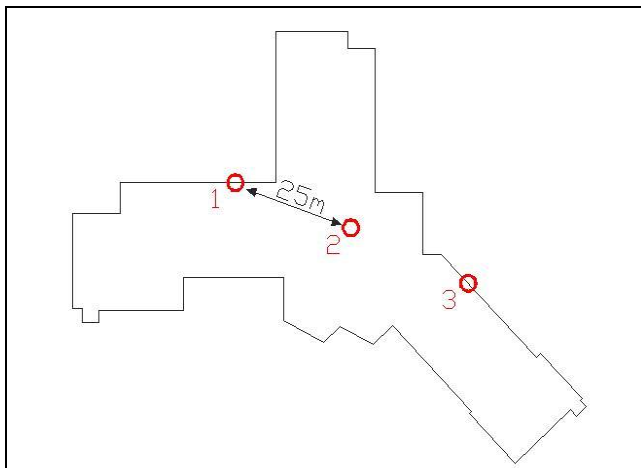
Kuva 7. Flemarin räjäytykset ja mittarilinjat.

Taulukko 1. SOK:n mittauspisteet.

MP	kerros	linja	Paikka
1	-2	1	pilari
2	-1	1	kantavaseinä
3	2	1	ulkoseinä, sandwich
4	4	1	ulkoseinä, sandwich
5	7	1	ulkoseinä, sandwich
6	-2	2	porraskuilun seinä
7	-1	2	porraskuilun seinä
8	2	2	porraskuilun seinä
9	4	2	porraskuilun seinä
10	7	2	porraskuilun seinä
11	-2	3	kantavaseinä
12	-1	3	pilari
13	2	3	ulkoseinä, sandwich
14	4	3	ulkoseinä, sandwich
15	7	3	ulkoseinä, sandwich



**Kuva 8. Mittauspisteet SOK:n kellarikerroksissa.**



**Kuva 9. Mittauspisteet SOK:n maanpäällisissä kerroksissa.**

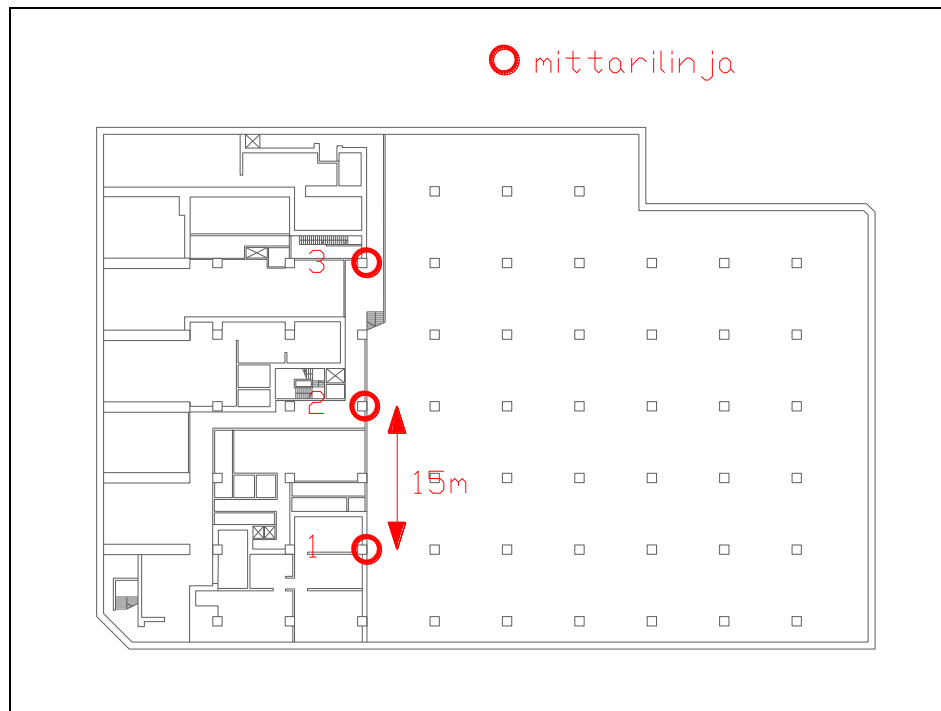
### 5.3. City-Center

Kohde sijaitsee Helsingin keskustassa Keskuskadulla. Se on Spondan omistama kauppa- ja liikerakennus, joka tunnetaan myös nimellä Makkaratalo. Se on osa City-Centriä ja se on rakennettu vuonna 1967. Rakennuksessa on viisi kellarikerrosta ja seitsemän maanpäällistä kerrosta. Rakennuksen runko on paikalla valettu pilari-palkkirunko.

Louhintakohde sijaitsi rakennuksen alapuolella. Tässä kohteessa mittarien sijoitus oli suhteellisen helppoa, koska pilarit kulkevat yhtenäisinä alhaalta ylös ja pilari-linjat rakennuksen läpi selkeällä jaolla. Täällä tärinät jäivät tutkimuksen kannalta toivottua pienemmiksi.

Louhintaurakoitsijana toimi Lemminkäinen Infra Oy. Rakennustyön tarkoituksena oli siirtää huoltoliikenne maan alle, mikä liittyi rakenteilla olevaan keskustan huoltotunneliin.

City-Centerissä mittauspisteet sijoitettiin ainoastaan kellarikerrokseen, joita kohteessa oli viisi. Täällä mittauslinjojen muodostus oli helppoa ja onnistui paremmin kuin muissa kohteissa (kuva 10). Mittauksissa käytettiin yhdeksää tärinämittaria, jotka olivat kiinni kantavissa pilareissa kolmessa eri kerroksessa. Kerrokset olivat k5, k3 ja k2. Mittauspisteiden keskinäinen välimatka pystysuunnassa oli noin 5 metriä. Vaakasuuntainen välimatka oli noin 15 metriä. Toleranssi tässä tapauksessa oli  $\pm 0,5$  m.

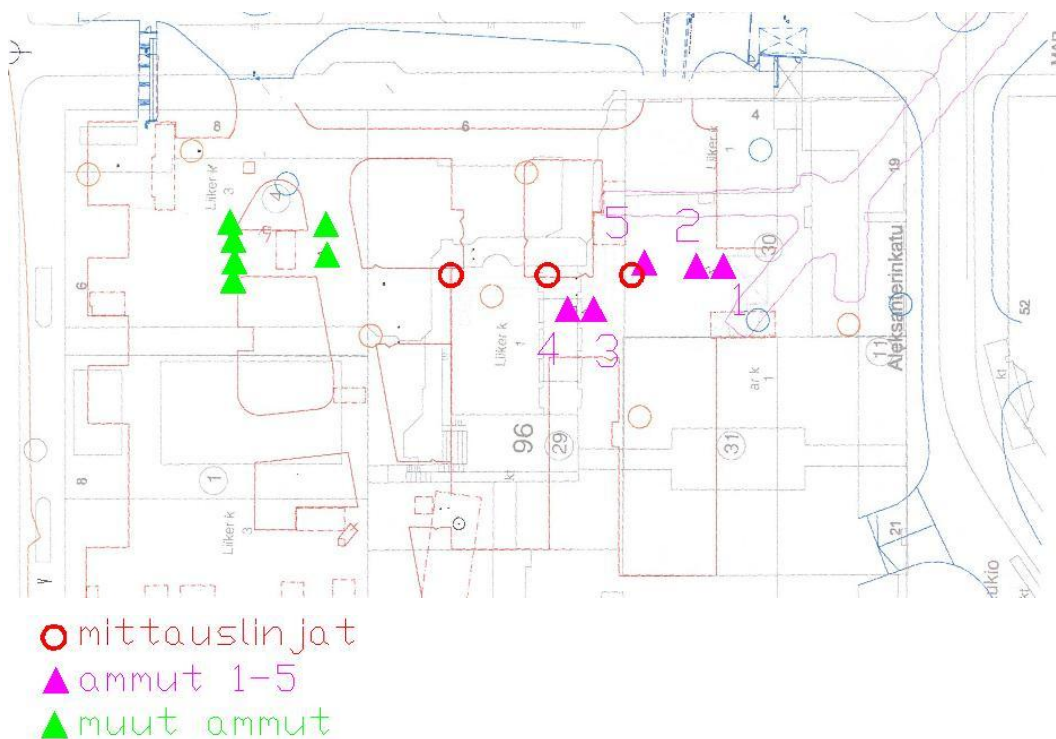


**Kuva 10. City-Centerin mittarilinjat.**

## 6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Mittaustuloksia on joka kohteessa kolmesta eri pystylinjasta. Tarkastelen ja vertailen tuloksia pääasiassa juuri pystysuunnassa olevien mittauspisteiden kesken. Koska tärinöitä tarkastellessa muuttujia on erittäin paljon, yksinkertaistimme tulosten tarkastelua keskittymällä vain heilahdusnopeuteen. Esitän heilahdusnopeudet kuvaajina, koska se on helpoin tapa kuvata tärinän muuttumista kerroksittain.

Mittaustuloksia tarkastellessa on syytä huomioida räjäytyspaikka mittalinjoihin nähden (kuvat 7 ja 11) ja rakenne, jossa mittauspiste sijaitsee, varsinkin elementtirakennuksessa (taulukko 1). Meiran tehdasrakennuksessa sain tulokset kuudesta räjäytyksestä, SOK: toimistorakennuksessa yhdeksästä räjäytyksestä ja City Centerissä viidestä räjäytyksestä. Meiran ja SOK:n kohteissa vaakakomponenttien suunnat eivät ole yhdenmukaisia pystylinjojen välillä, sillä asetin mittausanturit silmämääräisesti kohti arvioitua räjäytyspaikkaa. City-Centerissä asetin mittausanturit samansuuntaisesti räjäytyspaikasta huolimatta.



Kuva 11. City-Centerin räjäytykset ja mittausslinjat.

City-Centerissä tulokset jäivät vähäisiksi ja tärinät pieniksi varovaisen louhinnan takia. Siellä osa tärinäistä jäi niin pieneksi, että mittarit eivät rekisteröineet niitä. Kuvassa 10 näkyvät vihreällä värillä ne räjäytykset, joita mittarit eivät rekisteröineet ja magentalla ne räjäytykset, joista sain tulokset. Osaltaan myös tärinämittausten akkujen huono kesto vaikutti saatujen mittausten määrään huomattavasti kaikissa kohteissa.

Mittaustulokset on taulukoitu liitteessä 1, taulukoissa 1 - 20 on kolmen eri komponentin heilahdusnopeuden huippuarvo sekä niiden taajuus, kiihtyvyys ja siirtymä. Heilahdusnopeuden lisäksi taajuuden muuttuminen olisi tärkeä tutkimuskohde, mutta jos taajuus on yli 100 Hz, mittari antaa tulokseksi >100 Hz, joten taajuuden muutosta on vaikea vertailla. Taajuuden pystyy matemaattisesti laskemaan kaavalla  $f = v / (2\pi A)$ , mutta totesin että laskettu arvo ei ole riittävän lähellä mittarin ilmoittamaa arvoa. Taulukoissa on normaalien suureiden lisäksi alimmassa lokerossa PVS, joka on lyhenne sanoista Peak Vector Sum. PVS on heilahdusnopeuden kolmen eri komponentin vektorisumma.

## 6.1. Heilahdusnopeus

### 6.1.1 Meiran tehdasrakennus

Kuvien 8-16 kaavioissa on esitetty Meiran kohteen tuloksista pystysuuntaisen (vert) sekä vaakasuuntaisten (tran ja long) komponenttien heilahdusnopeuden huippuarvot mittaustuloksittain. Kaavion oikeassa reunassa on räjäytyksen numero, vaaka-akselissa on kerros ja pystyakselissa heilahdusnopeus. Kaavioissa 0-kerros tarkoittaa rakennuksen pohjakerrosta. Kaavioiden kaikki kuvaajat eivät ole täydellisiä, koska joitain tuloksia puuttuu mittareiden tyhjentyneiden akkujen takia tai mittarin laukaisukynnys ei ole ylittynyt.

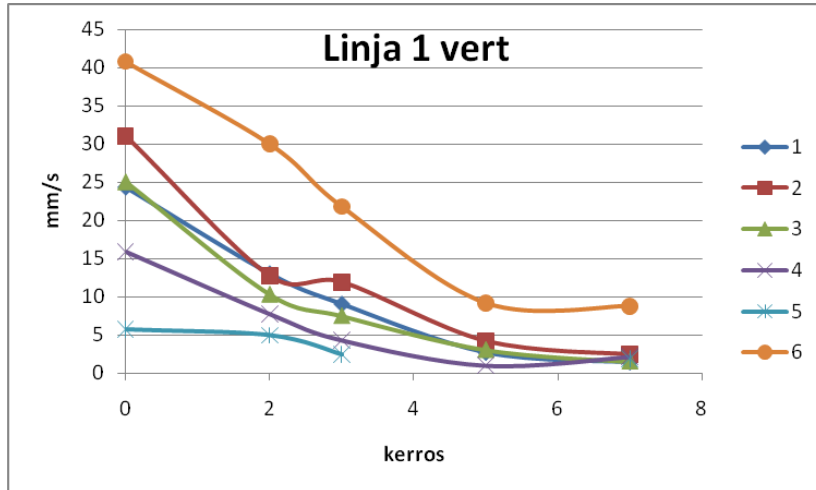
Kuvaajista voi todeta, että vaimeneminen ei ole lineaarista. Aluksi kuvaaja laskee jyrkemmin kahden ensimmäisen kerroksen välillä, minkä jälkeen se joko jatkaa loivasti laskuaan tai nousee hieman. Nousun jälkeen kuvaaja laskee taas, ja laskun jyrkkyys riippuu siitä kuinka suuri nousu on.

Ensimmäisissä kerroksissa heilahdusnopeuden vaimeneminen on sitä jyrkempi mitä suurempi rakennukseen tuleva heilahdusnopeus on. Pystykomponentissa vaimeneminen kahden ensimmäisen kerroksen välillä on keskimäärin 49,7 %:a, kun lasketaan kaikista räjäytyksistä ensimmäisen ja toisen pisteen prosentuaalisen muutoksen keskiarvo. Vaakakomponenteissa sama vaimeneminen kahden ensimmäisen kerroksen välillä on 70,1 %:a, eli huomattavasti suurempi kuin pystykomponentissa.

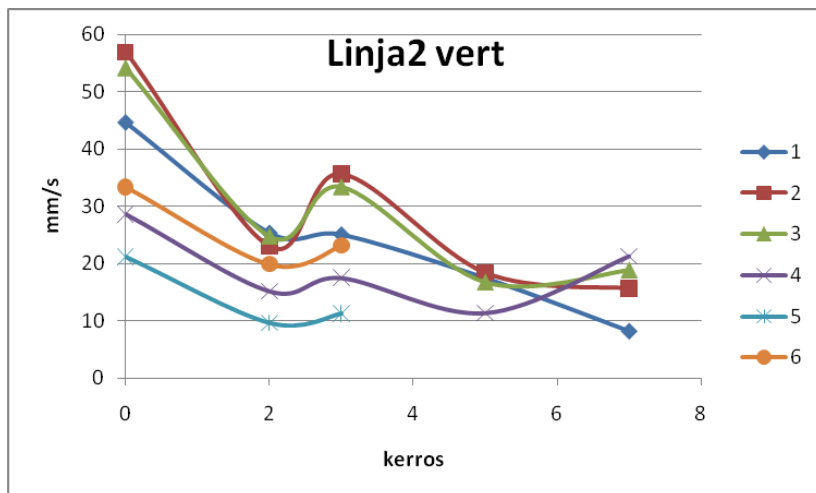
Linjassa 2 heilahdusnopeudessa tapahtuu nousu kolmannen kerroksen kohdalla useimmissa räjäytyksissä ja se toistuu joka komponentissa, mutta on suurin pystykomponentissa. Kyseinen nousu ei kuitenkaan ylitä rakennuksen alimpaan kerrokseen tulevaa heilahdusnopeutta. Koska linja 2 on lähimpänä räjäytyksiä, edellä mainituista asioista on tulkittavissa, että kolmannessa kerroksessa tapahtuva heilahdusnopeuden nousu tapahtuu vain melko lähellä tärinälähdettä, vaakasuunnassa alle 20 m. Käytännössä voisi ajatella, että suoraan tärinälähteen alapuolella.

Huomattavaa ja toistuvaa nousua tapahtuu linjassa 3 ylimmässä kerroksessa. Siellä tärinämittari oli kiinni tiilestä muuratussa väliseinässä. Voimistuminen tapahtuu suurena molemmissa vaakakomponenteissa, prosentuaalisesti arvoista laskettuna se on 61,5 %:a. Tiiliseinässä tapahtui jonkin asteista resonanssia rakenteen ominaistajuuden ja tärinän taajuuden kesken ja tärinä voimistuu. Tätä tukee varsinkin se, että voimistuminen tapahtuu suurempana vaakakomponenteissa.

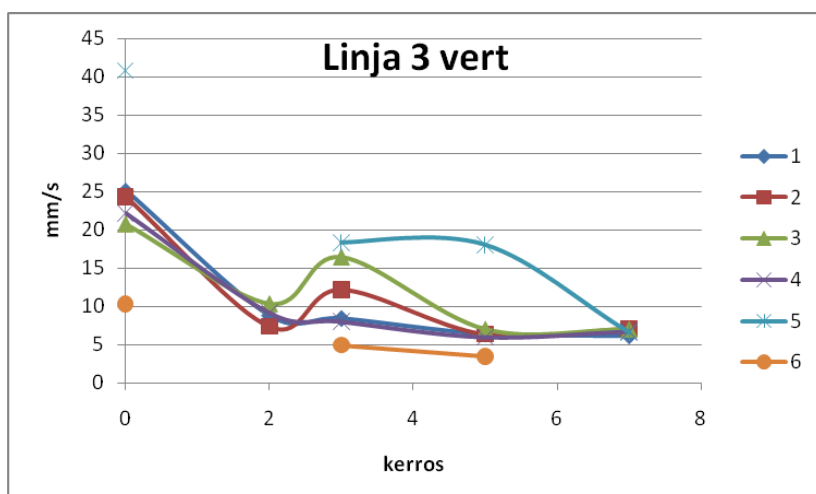
Vaaka- ja pystykomponentteja verrattaessa voi todeta sen, että vaakakomponentit vaimentuvat alimmissa kerroksissa pystykomponentteja enemmän. Lisäksi alun jyrkän vaimenemisen jälkeen vaakakomponentit vaimenevat tasaisemmin.



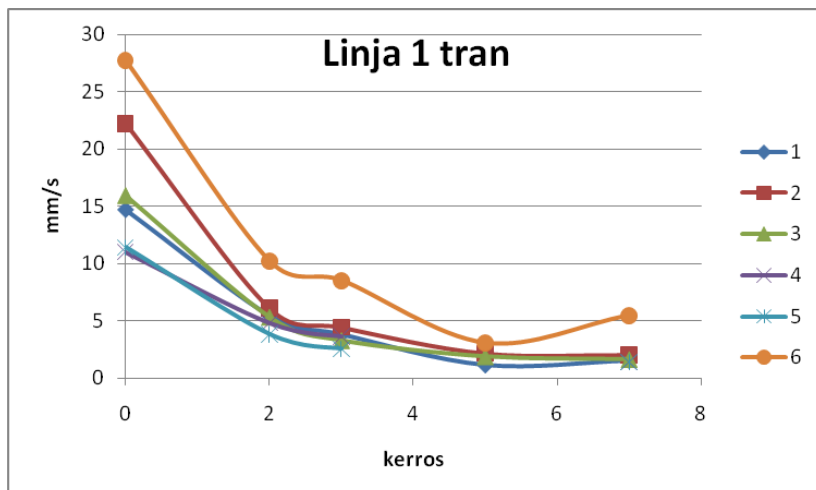
Kuva 12. Heilahdusnopeuden huippuarvot linjassa 1.



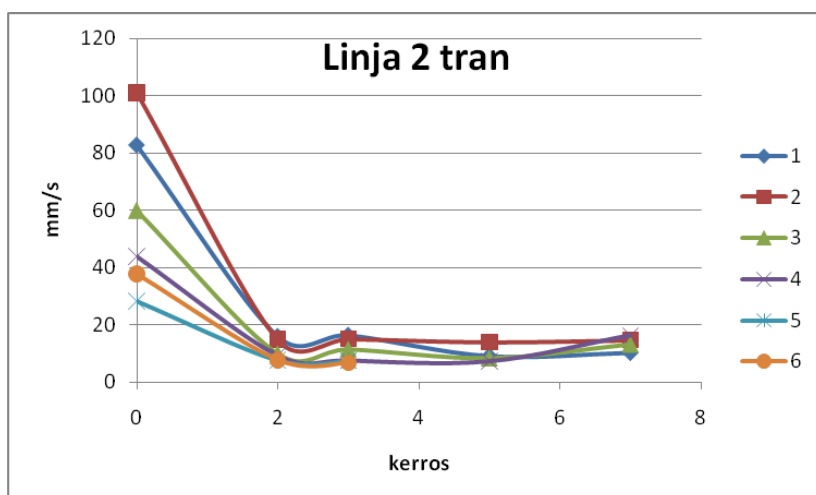
Kuva 13. Heilahdusnopeuden huippuarvot linjassa 2.



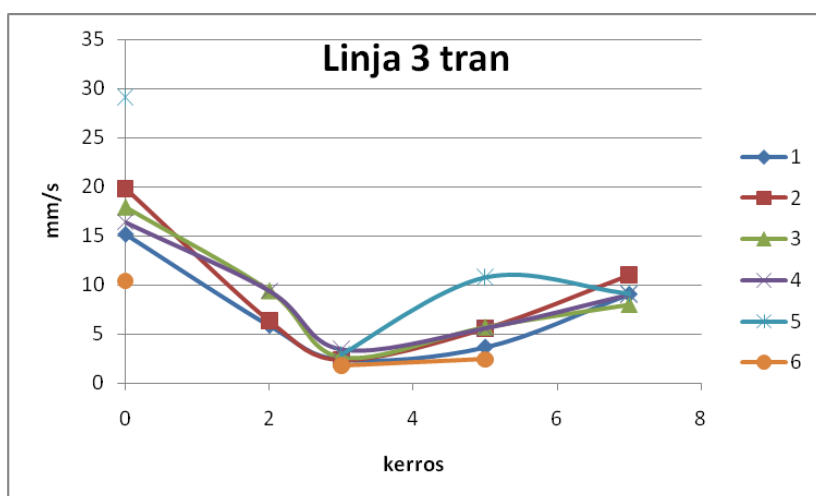
Kuva 14. Heilahdusnopeuden huippuarvot linjassa 3.



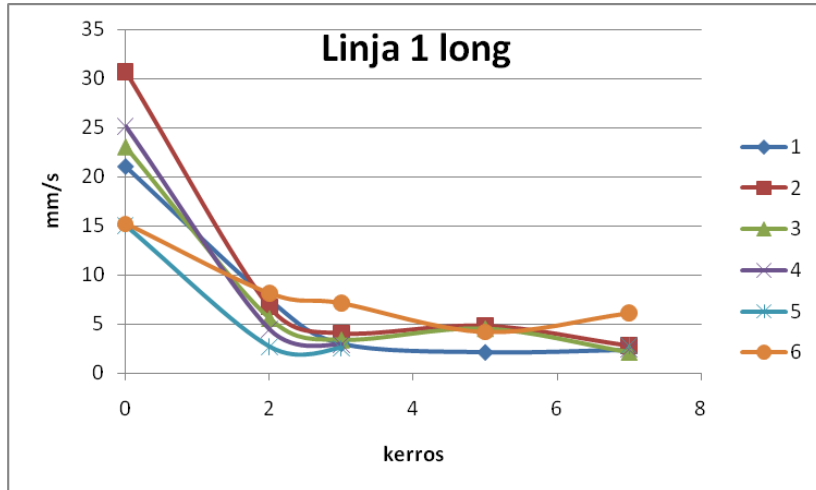
Kuva 15. Heilahdusnopeuden huippuarvot linjassa 1.



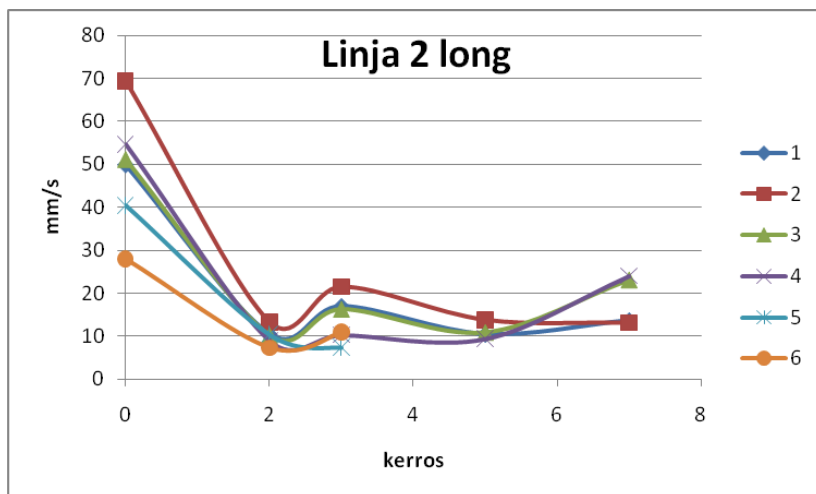
Kuva 16. Heilahdusnopeuden huippuarvot linjassa 2.



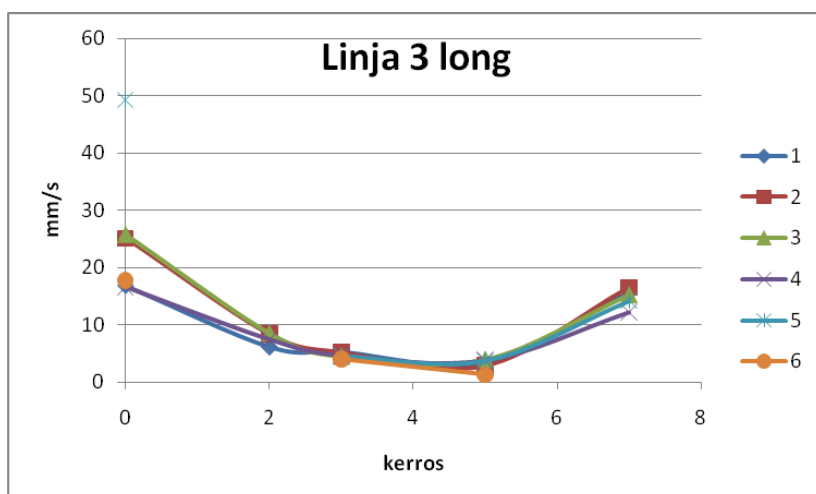
Kuva 17. Heilahdusnopeuden huippuarvot linjassa 3.



Kuva 18. Heilahdusnopeuden huippuarvot linjassa 1.



Kuva 19. Heilahdusnopeuden huippuarvot linjassa 2.



Kuva 20. Heilahdusnopeuden huippuarvot linjassa 3.

### 6.1.2. SOK:n toimistorakennus

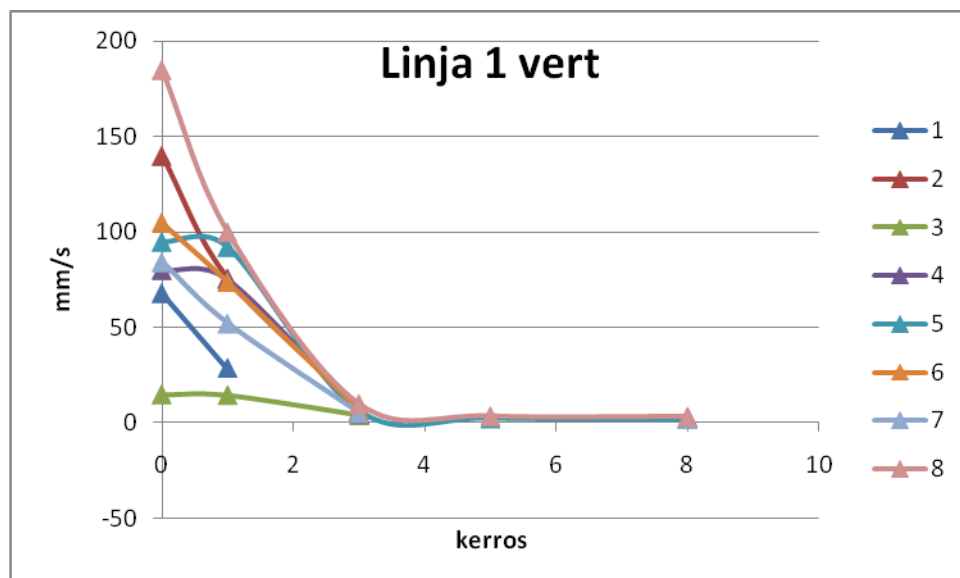
Kuvissa 20 – 22 on esitetty kolmen eri komponentin heilahdusnopeuden huippuarvot SOK:n toimistotalossa. Kuvaajat ovat ainoastaan linjasta 1, koska muissa linjoissa tulokset ovat niin hajanaisia, että niistä ei saa muodostettua kuvaajia. 0-kerros tarkoittaa taas pohjakerrosta.

Selkein yhtenäisyys kuvaajien välillä on se, että kolmannessa kerroksessa heilahdusnopeus putoaa lähes nolnaan ja pysyy tasaisesti alhaisena. Pudotus on todella suuri, se vaimenee kerrosten 1 - 3 välillä 91,5 %:a. Tämä vaimeneminen johtuu siitä, että kahdessa ensimmäisessä kerroksessa värinämittari oli kiinni kantavissa rakenteissa ja siitä eteenpäin ulkoseinien sandwich-elementeissä. Suurin syy vaimenemiseen on värinän heijastuminen rakenteiden rajapinnalta. Muuten pystykomponentti ja toinen vaakakomponentti (tran) vaimenevat melko suoraviivaisesti kahden ensimmäisen kerroksen välillä.

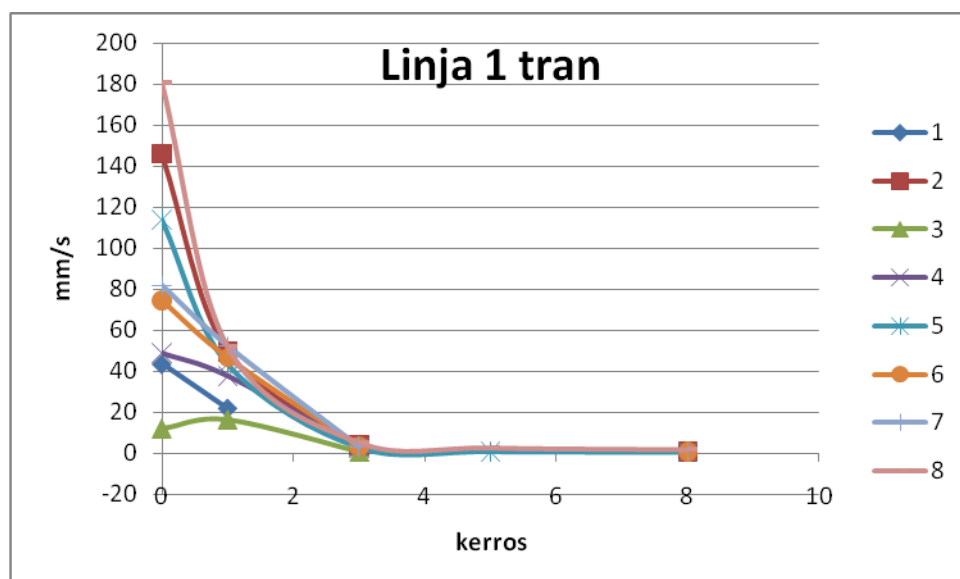
Toisessa vaakakomponentissa (long) tapahtuu pieni voimistuminen ensimmäisten kerrosten välillä. Siinä toisen kerroksen mittauspiste sijaitsi betoniseinässä, joten on oletettava, että seinä on värähdellyt vapaammin kuin alimman kerroksen pilari lähellä perustusta. Heilahdusnopeus nousee seinässä jopa suuremmaksi kuin rakennukseen tuleva värinä.

Liitteessä 1 olevien taulukoiden 7-14 arvoja vertaamalla voi todeta, että linjassa 2 vaakakomponentit voimistuvat kahden ensimmäisen kerroksen välillä, ne jopa kaksinkertaistuvat. Siinä linjassa mittarit olivat porraskäytävän seinässä. Voimistumisen syy on sama kuin edellisessä seinässä.

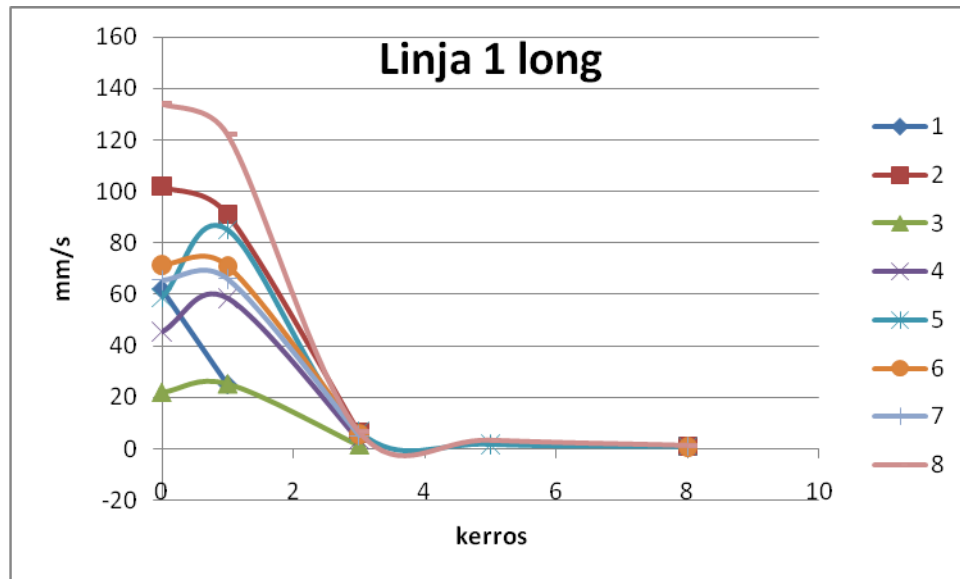
Edelleen samoista taulukoista voi todeta, että räjäytyksistä kauimpana olevassa linjassa numero 3, värinät vaimenevat tasaisesti joka komponentilla.



Kuva 21. Heilahdusnopeuden pystykomponentin huippuarvo linjassa1.



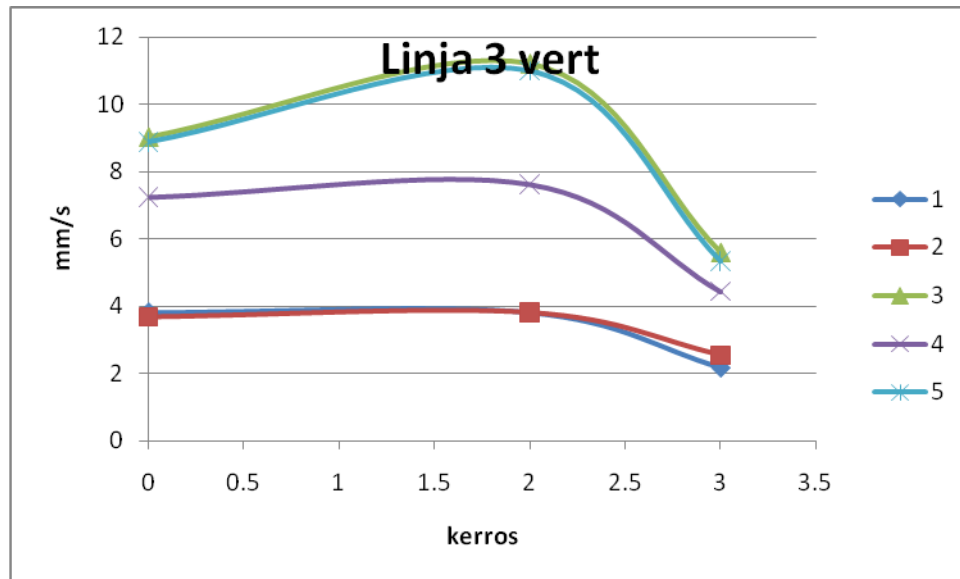
Kuva 22. Heilahdusnopeuden vaakakomponentin huippuarvo linjassa1.



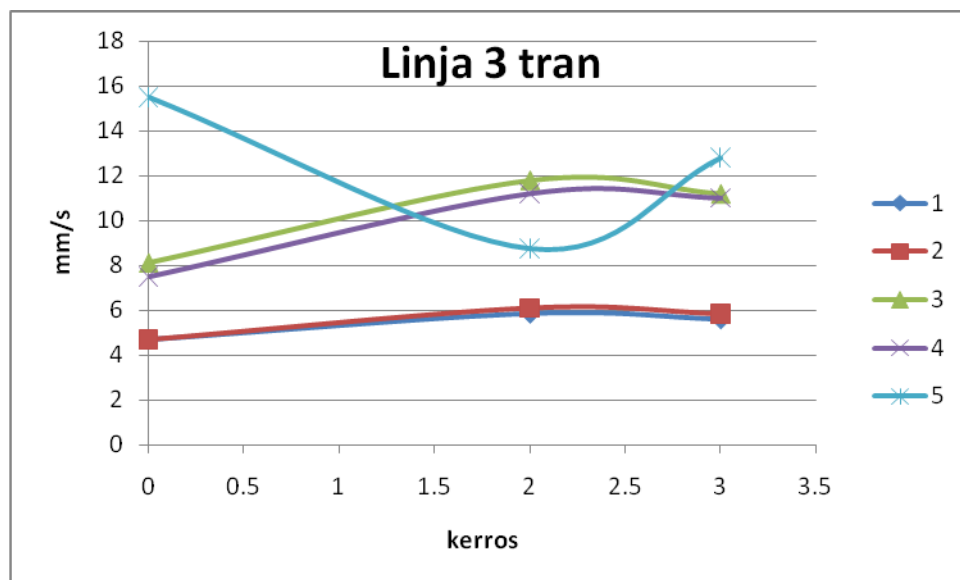
Kuva 23. Heilahdusnopeuden vaakakomponentin huippuarvo linjassa 1.

### 6.1.3. City-Center

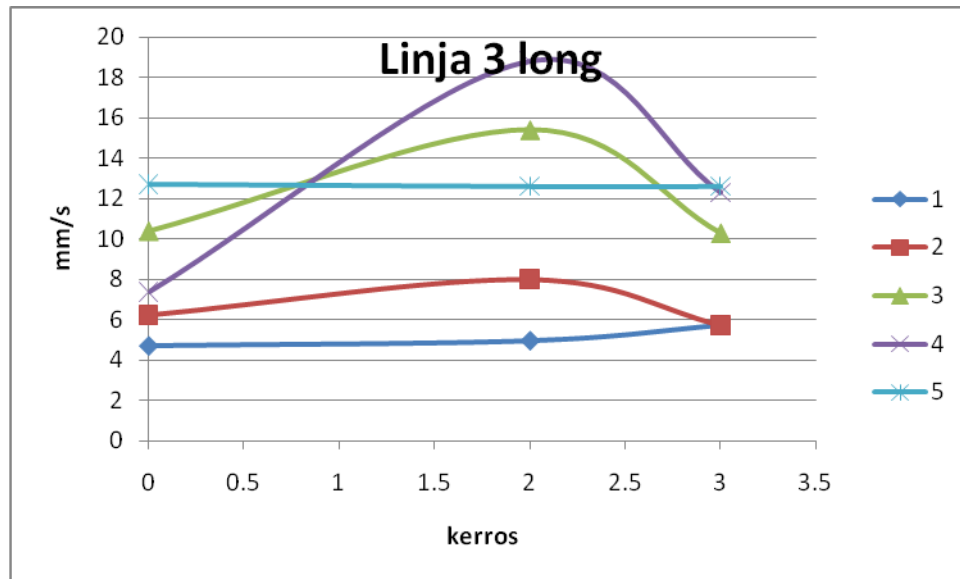
City-Centerissä heilahdusnopeuden arvot olivat melko pieniä, vain 2 – 15 mm/s. Näin pienistä arvoista voi olla harhaanjohtavaa tehdä johtopäätöksiä. Heilahdusnopeuden kuvaajat saa piirrettyä vain linjasta 3. Kuvaajista voi nähdä, että tärinä voimistuu toisen kerroksen kohdalla joka komponentilla, kahta poikkeusta lukuun ottamatta. Nousu on jälleen sitä suurempi mitä lähempänä mittauslinjaa räjäytys tapahtuu.



Kuva 24. Heilahdusnopeuden pystykomponentin huippuarvo linjassa3.



Kuva 25. Heilahdusnopeuden vaakakomponentin huippuarvo linjassa3.



Kuva 26. Heilahdusnopeuden vaakakomponentin huippuarvo linjassa3.

## 6.2. Aikahistoria

Aikahistoriakäyrä kuvaa heilahdusnopeuden muutosta kyseisessä mittauspisteessä koko räjäytyksen ajan. Tunnelinlouhinnan hidastusajat ovat niin pitkiä, että aikahistoriakäyrästä erottuu selvästi eri hidasteilla tapahtuvat räjähdyskset. Liitteessä 2 on malli aikahistoriakäyrästä. Aikahistoriasta on todettavissa, että suurin heilahdusnopeus ei välttämättä ole samassa kohdassa käyrää, vaikka mittarit ovat päällekkäin samassa linjassa. Tästä ilmiöstä ei löydy toistuvuutta tai johdonmukaisuutta. Voisi olettaa, että se johtuu nimenomaan värinäaaltojen yhteisvaikutuksesta.

Aikahistoriakäyrästä voi nähdä kuinka jaksottaiset räjäytyksen aiheuttamat värinäsumput harvenevat ja leviävät ylöspäin mentäessä. Ylimmissä kerroksissa, jos heilahdusnopeus on pieni, alle 3mm/s, käyrä lyhenee ja harvenee selkeästi. Silloin siitä ei ole enää nähtävissä eri hidasteilla tapahtuvaa räjähdystä.

## 7 YHTEENVETO

Yhteenvetona tämän tutkimuksen tuloksista voi todeta, että tärinän käyttäytymisessä ei ole mitään selkeää johdonmukaisuutta. Mitään yksiselitteistä linjanvetoa ei voi tehdä. Pääsääntö on kuitenkin se, että tärinä vaimenee, mutta voi myös voimistua rakennuksessa ylöspäin.

Tulosten perusteella alimmissa kerroksissa kantavissa pilareissa voi tapahtua heilahdusnopeuden voimistumista. Tässä tutkimuksessa voimistuminen tapahtui kerroksissa 1-3, jos alin kerros ajatellaan numerona 0. Meirassa ja City-Centerissä kyseiseen nousuun vaikuttivat tärinälähteen paikka mittauslinjaan nähden, eli vain mittauslinjaa lähellä tapahtuneissa räjäytyksissä tapahtui voimistuminen. Tämä voi johtua siitä, että tärinä ei ehdi levitä laajalle alueelle lyhyellä matkalla. Meiran tehtaassa kyseinen nousu tapahtui kolmannessa kerroksessa ja oli suurinta pystykomponentissa, mutta ei noussut kuitenkaan kertaakaan suuremmaksi kuin alimassa kerroksessa. Se, että pystykomponentti voimistui eniten voi johtua siitä, että tärinä tuli rakennukseen alhaalta päin pystysuunnassa. City-Centerissä nousu tapahtui toisessa kerroksessa ja oli käytännössä samanlainen joka komponentissa. City-Centerissä pitää ottaa huomioon, että tärinät olivat suhteellisen pieniä ja suurimmilla tärinöillä käyttäytyminen voi olla toisenlaista. Yksi vaikuttava tekijä molemmissa tapauksissa voi olla se, että lähellä perustuksia osa tärinän energiasta leviää myös perustusten kautta maahan, mikä pienentää tärinää.

Seinissä voi tapahtua vaakakomponenttien voimistumista kaikissa kerroksissa. Tässä tutkimuksessa sitä tapahtui Meiran ylimmän kerroksen tiiliseinässä ja SOK:n talossa toisessa kerroksessa, kahdessa eri seinässä. SOK:ssa nousu oli suurimmillaan kaksinkertainen alimpaan kerrokseen verrattuna. Koska seinä on ohut rakenne, se pääsee värähtelemään vaakasuunnassa vapaammin kuin massiivinen pilari ja seinän keskellä värähtely on suurempaa kuin lähellä nurkkia. Siitä johtuen tärinä voi olla siinä suurempaa vaikka resonanssia ei tapahtuisikaan.

Tärinä vaimentui lähes olemattomiin sandwich-elementissä. Käytännössä olen törmännyt siihen, että tärinää on mitattu myös ulkoseinäelementeistä. Tutkimuksen perusteella kannattaa käyttää harkintaa kiinnittäessä mittaria ulkoseinäele-

menttiin. Kääntäen tämä tarkoittaa myös sitä, että elementti voi olla turvassa tärinän vaikutuksilta.

Tämän tutkimuksen perusteella betonirakennuksessa perustuksiin tuleva tärinä ei voimistu huomattavasti kolmannen kerroksen jälkeen pystysuunnassa pitkissä rakenteissa, mutta vaakakomponentit voivat voimistua vaakasuunnassa ohuissa rakenteissa.

Tutkimuksen kaikissa kohteissa louhintatärinä syntyi tunnelinlouhinnasta, eli tärinälähde oli rakennuksen alapuolella. Maanpäällisessä avolouhinta kohteessa tulokset saattavat olla erilaisia, koska silloin tärinä useimmiten tulee rakennukseen sivulta päin.

Tutkimustuloksia tarvittaisiin huomattavasti enemmän, ehkä jopa sadoista eri kohteista, että löytyisi selkeä jokin yhteneväisyys. Tutkimuksen mittarilinjat olisi pitänyt rakentaa siten, että linjat olisivat sijainneet kantavissa pilareissa, välipohjissa ja seinissä. Siten olisi saatu selville, missä niistä heilahdusnopeuden nousua tapahtuu eniten ja suurimpana.

## LÄHDELUETTELO

Dowding, Charles 1996. Construction Vibration. 1 p. USA, Prentice Hall.

Maa- ja kalliodynamiikan perusteet, värinän siirtyminen rakenteisiin 2009. Tampere, Tampereen Teknillinen Yliopisto [viitattu 23.11.2009]. Saatavilla www- muodossa: <URL: [http://www.ril.fi/web/files/t\\_liite\\_1.pdf](http://www.ril.fi/web/files/t_liite_1.pdf)>

Ruuth, Joni 2006. Louhintatärinämittausten hyödyntäminen junan aiheuttaman runkomelun vaimentamisen suunnittelussa. Helsinki, Stadia.

Vuolio, Raimo & Paavola, Pertti 2008. Rakentamisen aiheuttamista värinöistä ja niiden huomioonottamisesta. Suomen Geoteknillinen Yhdistys [viitattu 23.22.2009]. Saatavilla www-muodossa: <URL:<http://www.sgy.fi/getfile.ashx?cid=72856&cc=3&refid=9>>

Vuolio, Raimo 1991. Räjätystyöt. 3 p. Forssa, Forssan Kirjapaino Oy.

## LIITE 1

## MEIRAN MITTAUSTULOKSET

Taulukko 1.

MITTAUSTULOKSET															
Paikka: Meira															
pvm: 12.2.2008															
klo: 20:06:51															
ampu nro: 1															
Linja1	kellari			2. kerros			3. kerros			5. kerros			7. kerros		
	mp1			mp2			mp3			mp4			mp5		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	14.7	24.3	21.0	5.46	13	7.49	3.81	9.02	3.05	1.14	2.67	2.16	1.52	1.4	2.41
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	73	57	7.2
kiiktyvyys g	1.41	2.68	2.57	0.954	2.32	1.29	0.597	0.968	0.437	0.119	0.278	0.225	0.0928	0.0928	0.106
siirtymä mm	0.0213	0.0197	0.302	0.00955	0.00794	0.0169	0.011	0.0067	0.022	0.0259	0.00546	0.0399	0.0179	0.0098	0.0603
PVS	34.9 mm/s			13.9 mm/s			9.28 mm/s			2.8 mm/s			2.44 mm/s		
Linja2	mp6			mp7			mp8			mp9			mp10		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	82.7	44.6	49.9	16	25.3	10.5	16.4	25	17	9.14	17.4	10.5	10.3	8.13	13.7
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	37	24	>100	47	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
kiiktyvyys g	7.11	5.08	4.46	2.04	2.15	1.33	2.41	3.74	2.35	1.1	2.19	1.48	1.13	0.809	1.17
siirtymä mm	0.369	0.0365	0.0618	0.122	0.0245	0.287	0.0988	0.0286	0.0249	0.0119	0.0308	0.0382	0.0205	0.0102	0.0355
PVS	84.0 mm/s			25.3 mm/s			27.9 mm/s			19.7 mm/s			14.7 mm/s		
Linja3	mp11			mp12			mp13			mp14			mp15		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	15.1	25.1	16.8	5.84	8.76	6.1	2.41	8.38	5.21	3.56	6.35	3.43	9.02	6.1	15.7
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
kiiktyvyys g	2.62	3.98	1.91	0.822	0.875	0.901	0.278	1.05	0.517	0.636	0.689	0.451	0.954	0.663	1.62
siirtymä mm	0.0125	0.0113	0.143	0.00769	0.0062	0.00428	0.00508	0.00701	0.00589	0.324	0.00812	0.0653	0.0247	0.00918	0.0319
PVS	27.6 mm/s			9.18 mm/s			8.64 mm/s			6.85 mm/s			16.3 mm/s		

Taulukko 2.

MITTAUSTULOKSET															
Paikka: Meira															
pvm: 13.2.2008															
klo: 19:37:21															
ampu nro: 2															
Linja1	kellari			2. kerros			3. kerros			5. kerros			7. kerros		
	mp1			mp2			mp3			mp4			mp5		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	22.2	31.0	30.7	6.1	13.7	6.73	4.44	11.9	4.06	2.16	4.19	4.83	2.03	2.41	2.79
taajuus Hz	85	>100	64	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	14	73	11
kiiktyvyys g	1.37	2.66	2.86	0.954	1.71	1.07	0.65	1.15	0.53	0.252	0.384	0.384	0.106	0.119	0.119
siirtymä mm	0.0587	0.0510	0.228	0.0105	0.0124	0.00583	0.0227	0.0155	0.018	0.0201	0.0273	0.0317	0.0203	0.0193	0.0486
PVS	34.7 mm/s			13.8 mm/s			12.1 mm/s			5.06 mm/s			2.98 mm/s		
Linja2	mp6			mp7			mp8			mp9			mp10		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	101	56.9	69.3	14.9	23	13.3	15.1	35.6	21.5	14	18.4	13.8	14.7	15.7	13.1
taajuus Hz	>100	>100	>100	85	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	43	>100
kiiktyvyys g	9.09	5.4	6.34	2.09	2.65	1.5	2.64	4.44	2.29	1.3	2.2	1.35	1.46	0.822	1.11
siirtymä mm	0.534	0.448	0.725	0.0232	0.0393	0.0221	0.192	0.0449	0.0119	0.0146	0.0409	0.0333	0.0427	0.0435	0.0201
PVS	115 mm/s			25.4 mm/s			37.4 mm/s			23.4 mm/s			17.9 mm/s		
Linja3	mp11			mp12			mp13			mp14			mp15		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	19.8	24.3	25.1	6.35	7.37	8.38	2.41	12.2	5.21	5.59	6.35	2.92	11	7.11	16.5
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
kiiktyvyys g	3.04	4.02	3.18	1.09	1.31	1.42	0.371	1.3	0.53	0.848	0.941	0.504	0.888	0.729	1.67
siirtymä mm	0.0206	0.0119	0.0729	0.00992	0.00589	0.00502	0.00341	0.00887	0.0154	0.0146	0.0112	0.0508	0.0283	0.0113	0.0207
PVS	34.4 mm/s			10.6 mm/s			12.3 mm/s			7.68 mm/s			16.8 mm/s		

## LIITE 1

## Taulukko 3.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: Meira

pvm: 14.2.2008

klo: 17:31:35

ampu nro:

3

Linja1	kellari			2. kerros			3. kerros			5. kerros			7. kerros		
	mp1			mp2			mp3			mp4			mp5		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	15,9	25,0	23	5,33	10,3	5,59	3,3	7,49	3,43	1,9	3,05	4,57	1,65	1,52	2,16
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	85	64	9,1
kiikityvyys g	1,29	2,20	2,04	0,756	1,58	0,795	0,305	0,756	0,358	0,199	0,318	0,437	0,0795	0,0795	0,0795
siirtymä mm	0,0190	0,0258	0,135	0,0198	0,013	0,00603	0,0209	0,00812	0,0187	0,0286	0,0135	0,0547	0,0259	0,00558	0,0737
PVS	26,7 mm/s			10,7 mm/s			7,56 mm/s			4,62 mm/s			2,26 mm/s		
Linja2	mp6			mp7			mp8			mp9			mp10		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	59,9	54,1	51,1	9,78	24,8	10,2	11,3	33,4	16,3	8,25	16,8	10,9	13,1	18,9	23,1
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	51	>100
kiikityvyys g	6,12	5,95	4,43	1,43	2,68	1,21	1,26	3,37	1,62	1,02	1,76	1,68	1,18	1,03	1,56
siirtymä mm	0,359	0,0824	0,741	0,0661	0,022	0,0239	0,132	0,0249	0,0306	0,0107	0,0383	0,0456	0,0495	0,0712	0,0417
PVS	82,3 mm/s			24,8 mm/s			34,4 mm/s			18,7 mm/s			28,1 mm/s		
Linja3	mp11			mp12			mp13			mp14			mp15		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	17,9	20,7	25,7	9,4	10,3	8,51	2,67	16,4	4,44	5,71	6,98	3,94	8	6,98	15,2
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
kiikityvyys g	2,33	3,22	3,1	1,42	1,09	1,47	0,331	1,92	0,49	0,875	1,02	0,636	0,795	0,795	1,55
siirtymä mm	0,0162	0,00936	0,0576	0,0283	0,00781	0,0164	0,00223	0,0109	0,0322	0,0283	0,0138	0,0499	0,0282	0,0156	0,0499
PVS	29,0 mm/s			12,6 mm/s			16,6 mm/s			7,37 mm/s			15,5 mm/s		

## Taulukko 4.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: Meira

pvm: 15.2.2008

klo: 16:33:42

ampu nro:

4

Linja1	kellari			2. kerros			3. kerros			5. kerros			7. kerros		
	mp1			mp2			mp3			mp4			mp5		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	11,0	15,9	25,1	4,83	7,75	4,44	3,56	4,32	2,92				1,4	2,16	2,41
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	73	>100	>100	>100	>100				11	51	7,8
kiikityvyys g	1,22	1,55	2,24	0,689	0,981	0,623	0,411	0,504	0,331				0,0795	0,119	0,0795
siirtymä mm	0,0252	0,0167	0,152	0,0365	0,0106	0,00384	0,0243	0,00775	0,0364				0,0404	0,00639	0,114
PVS	25,8 mm/s			8,03 mm/s			5,01 mm/s						2,53 mm/s		
Linja2	mp6			mp7			mp8			mp9			mp10		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	43,8	28,6	54,7	9,27	15,2	9,02	7,49	17,5	10,3	7,24	11,4	9,4	16,3	21,3	24
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	47	>100
kiikityvyys g	4,03	3,12	5,21	1,13	1,48	1,56	0,968	1,87	1,66	0,848	1,38	1,23	1,46	1,02	1,6
siirtymä mm	0,264	0,032	0,104	0,0337	0,0148	0,0122	0,00788	0,017	0,0389	0,0156	0,0275	0,0616	0,0719	0,0792	0,0578
PVS	61,7 mm/s			15,7 mm/s			17,7 mm/s			14,1 mm/s			27,8 mm/s		
Linja3	mp11			mp12			mp13			mp14			mp15		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	16,4	22,2	16,6	9,4	9,14	7,49	3,43	8	4,7	5,59	5,97	3,81	9,02	6,73	12,2
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	85	>100	>100	>100	>100	>100	>100
kiikityvyys g	2,16	3,51	2,21	1,19	1,15	0,954	0,371	1,06	0,544	1,11	0,994	0,398	0,676	0,597	1,15
siirtymä mm	0,0105	0,0118	0,0658	0,0259	0,00744	0,0219	0,0182	0,00682	0,0455	0,0315	0,0115	0,0525	0,0415	0,0136	0,0841
PVS	24,0 mm/s			12,2 mm/s			8,02 mm/s			8,1 mm/s			15,8 mm/s		

## LIITE 1

## Taulukko 5.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: Meira

pvm: 18.2.2008

klo: 19:09:14

ampu nro:

5

Linja1	kellari			2. kerros			3. kerros			5. kerros			7. kerros		
	mp1			mp2			mp3			mp4			mp5		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	11,4	5,71	15,0	3,81	4,95	2,67	2,54	2,41	2,54				1,4	1,9	2,79
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	57	>100	>100	47	>100				8,4	51	7,9
kihtyvyyys g	1,19	0,464	1,21	0,676	0,636	0,504	0,331	0,305	0,252				0,053	0,0663	0,0663
siirtymä mm	0,0107	0,00986	0,248	0,0157	0,0104	0,00236	0,00639	0,00763	0,0118				0,0209	0,00651	0,0526
PVS	15,3 mm/s			5,17 mm/s			3,12 mm/s						2,87 mm/s		
Linja2	mp6			mp7			mp8			mp9			mp10		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
	nopeus mm/s	28,3	21,2	40,4	7,62	9,65	10,4	7,49	11,3	7,37					
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100						
kihtyvyyys g	2,96	2,37	3,67	0,742	1,06	1,17	0,901	1,35	1,31						
siirtymä mm	0,1	0,0259	0,0404	0,0255	0,0184	0,0102	0,00862	0,0198	0,0273						
PVS	46,4 mm/s			11,2 mm/s			13,8 mm/s								
Linja3	mp11			mp12			mp13			mp14			mp15		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
	nopeus mm/s	29,1	40,8	49,3				2,92	18,3	4,57	10,8	18	3,68	9,14	6,6
taajuus Hz	>100	>100	>100				>100	>100	>100	>100	>100	73	>100	>100	>100
kihtyvyyys g	4,2	6,59	6,63				0,464	1,95	0,57	1,96	2,37	0,53	0,835	0,742	1,37
siirtymä mm	0,0179	0,0214	0,115				0,0067	0,014	0,0168	0,0393	0,0175	0,0567	0,0254	0,0206	0,0144
PVS	54,9 mm/s						18,5 mm/s			19,5 mm/s			16,0 mm/s		

## Taulukko 6.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: Meira

pvm: 19.2.2008

klo: 18:20:03

ampu nro:

6

Linja1	kellari			2. kerros			3. kerros			5. kerros			7. kerros		
	mp1			mp2			mp3			mp4			mp5		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	27,7	40,8	15,2	10,2	30	8,13	8,51	21,8	7,11				5,46	8,76	6,1
taajuus Hz	>100	85	4,1	>100	85	>100	64	85	85				17	16	18
kihtyvyyys g	2,24	2,60	1,43	1,25	2	1,27	0,901	1,35	0,703				0,146	0,305	0,186
siirtymä mm	0,134	0,0871	0,391	0,0159	0,0713	0,0478	0,0252	0,0612	0,0312				0,0492	0,0781	0,0591
PVS	42,7 mm/s			30,0 mm/s			22,5 mm/s						9,54 mm/s		
Linja2	mp6			mp7			mp8			mp9			mp10		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
	nopeus mm/s	37,8	33,4	27,9	7,75	19,9	7,24	6,73	23,2	10,9					
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100						
kihtyvyyys g	3,82	3,88	2,8	0,888	1,78	1,03	1,19	2,01	2,04						
siirtymä mm	0,1	0,038	0,0903	0,0353	0,0227	0,00899	0,0571	0,0284	0,0218						
PVS	54,1 mm/s			20,4 mm/s			24,3 mm/s								
Linja3	mp11			mp12			mp13			mp14			mp15		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
	nopeus mm/s	10,4	10,3	17,7				1,78	4,95	4,06	2,41	3,43	1,27		
taajuus Hz	>100	>100	>100				>100	>100	>100	>100	>100	>100			
kihtyvyyys g	1,31	1,13	1,55				0,159	0,477	0,331	0,358	0,384	0,172			
siirtymä mm	0,0122	0,016	0,0295				0,00688	0,0067	0,015	0,0165	0,00446	0,0249			
PVS	18,0 mm/s						5,16 mm/s			3,87 mm/s					





## LIITE 1

## Taulukko 11.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: SOK

pvm: 4.3.2008

klo: 20:16:29

ampu nro:

5

Linja1	mp1			mp2			mp3			mp4			mp5		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	114	94.9	58.8	43.6	92.2	85.2	2.92	6.1	6.6	0.889	2.41	1.78	0.635	2.03	0.889
taajuus Hz	17	>100	>100	51	37	39	>100	64	>100	39	20	57	30	15	27
kihtyvyyys g	6.64	15.1	7.65	4.3	6.83	6.27	0.331	0.544	0.517	0.0663	0.119	0.133	0.0398	0.053	0.053
siirtymä mm	0.866	0.896	0.0577	0.109	0.397	0.203	0.0075	0.0122	0.0126	0.0106	0.0264	0.00819	0.0363	0.0342	0.0202
PVS	118 mm/s			103 mm/s			6,98 mm/s			2,46 mm/s			2,08 mm/s		
Linja2	mp6			mp7			mp8			mp9			mp10		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	47.8	92.7	76.2				35.2	29.6	38.1	9.4	18.5	7.11			
taajuus Hz	>100	>100	73				>100	>100	>100	>100	>100	>100			
kihtyvyyys g	4.56	12.4	7.54				5.97	3.04	5.45	1.03	1.64	1.18			
siirtymä mm	0.761	0.0463	0.238				0.0225	0.0251	0.0206	0.0378	0.0347	0.0075			
PVS	96,9 mm/s						39,9 mm/s			18,9 mm/s					
Linja3	mp11			mp12			mp13			mp14			mp15		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	9.65	16.3	9.78	9.02	4.83	11.3									
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100									
kihtyvyyys g	1.46	2.7	1.38	0.782	0.517	1.26									
siirtymä mm	0.00552	0.011	0.0102	0.00794	0.00775	0.0118									
PVS	18,8 mm/s			12,6 mm/s											

## Taulukko 12.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: SOK

pvm: 5.3.2008

klo: 20:34:53

ampu nro:

6

Linja1	mp1			mp2			mp3			mp4			mp5		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	74.4	105	71.4	46.7	73.8	70.9	3.43	6.6	5.59				0.889	2.41	0.762
taajuus Hz	>100	>100	>100	51	>100	51	73	85	>100				47	8	23
kihtyvyyys g	10.3	15.9	8.82	5.09	6.39	6.92	0.318	0.451	0.597				0.0398	0.053	0.053
siirtymä mm	1.05	0.539	0.147	0.103	0.239	0.196	0.0114	0.0192	0.0151				0.0138	0.0487	0.00707
PVS	126 mm/s			88,0 mm/s			7,01 mm/s						2,42 mm/s		
Linja2	mp6			mp7			mp8			mp9			mp10		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	153	129	123				44.7	55.9	51.9	14.2	34.9	14			
taajuus Hz	2.6	>100	>100				>100	85	>100	>100	85	>100			
kihtyvyyys g	10.6	15.9	10.1				6.88	5.21	9.49	1.98	2.19	1.92			
siirtymä mm	4.02	2.17	1.6				0.0938	0.0625	0.0383	0.121	0.0541	0.0154			
PVS	233 mm/s						63,8 mm/s			35,8 mm/s					
Linja3	mp11			mp12			mp13			mp14			mp15		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	13.1	24.5	14.7	11.8	6.73	9.27	2.92	3.05	3.56						
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	6.3						
kihtyvyyys g	2.16	3.63	1.84	1.62	0.954	1.13	0.411	0.464	0.464						
siirtymä mm	0.00639	0.0163	0.146	0.0139	0.00788	0.012	0.0133	0.00664	0.0549						
PVS	24,8 mm/s			13,5 mm/s			3,9 mm/s								

## LIITE 1

## Taulukko 13.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: SOK

pvm: 6.3.2008

klo: 20:13:58

ampu nro:

7

Linja1	mp1			mp2			mp3			mp4			mp5		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	81.8	84.3	65.5	52.3	52.1	66	3.17	5.21	5.08				1.27	2.03	0.889
taajuus Hz	>100	85	>100	57	51	85	>100	>100	>100				51	7.1	37
kihtyvyys g	8.15	11.7	9.82	4.52	4.85	5.57	0.331	0.53	0.53				0.0398	0.0663	0.0663
siirtymä mm	1.34	0.982	0.213	0.104	0.281	0.168	0.00527	0.0107	0.00887				0.00626	0.0288	0.0147
PVS	107 mm/s			83,9 mm/s			5,81 mm/s						2,04 mm/s		

Linja2	mp6			mp7			mp8			mp9			mp10		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s							65.3	58.8	68.3	16.3	25.3	17.9			
taajuus Hz							>100	>100	>100	>100	73	>100			
kihtyvyys g							9.97	6.46	12.2	2.9	1.75	2.97			
siirtymä mm							0.0319	0.0427	0.0347	0.134	0.0351	0.0152			
PVS							89,3 mm/s			26,4 mm/s					

Linja3	mp11			mp12			mp13			mp14			mp15		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	36.1	62.7	41.7	15.5	11.3	16.3	5.59	6.22	4.57						
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100						
kihtyvyys g	5.3	8.13	6.16	2.4	1.78	2.23	0.676	0.742	0.756						
siirtymä mm	0.0643	0.0846	0.306	0.0136	0.00881	0.0249	0.00831	0.00558	0.206						
PVS	64,9 mm/s			21,2 mm/s			7,3 mm/s								

## Taulukko 14.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: SOK

pvm: 7.3.2008

klo: 18:22:17

ampu nro:

8

Linja1	mp1			mp2			mp3			mp4			mp5		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	181	185	134	52.2	100	122	5.46	9.91	6.73	2.79	3.56	3.43	1.9	3.3	1.4
taajuus Hz	85	>100	>100	>100	32	32	73	73	64	27	34	37	37	9	23
kihtyvyys g	17.8	26.3	19.8	6.11	7.21	6.97	0.504	0.716	0.61	0.159	0.199	0.199	0.0928	0.0928	0.0663
siirtymä mm	0.618	0.793	1.02	0.152	0.475	0.359	0.02	0.0143	0.0386	0.0134	0.0223	0.0224	0.0126	0.0467	0.0183
PVS	238 mm/s			129 mm/s			10,3 mm/s			3,85 mm/s			3,37 mm/s		

Linja2	mp6			mp7			mp8			mp9			mp10		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s							110	97.9	90.7	29.2	68.6	25.5			
taajuus Hz							>100	>100	>100	>100	73	>100			
kihtyvyys g							11.9	8.96	11.5	4.27	4.1	3.71			
siirtymä mm							1.14	0.0879	0.277	0.269	0.11	0.264			
PVS							149 mm/s			68,9 mm/s					

Linja3	mp11			mp12			mp13			mp14			mp15		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	19.2	39.5	22.2							2.54	2.54	2.41	2.41	3.43	1.65
taajuus Hz	>100	>100	>100							20	20	43	28	17	32
kihtyvyys g	2.72	5.67	3.06							0.172	0.146	0.119	0.0663	0.053	0.0663
siirtymä mm	0.0127	0.0231	0.0825							0.0223	0.0194	0.0119	0.03	0.0291	0.00974
PVS	44,2 mm/s									3,22 mm/s			3,72 mm/s		

## LIITE 1

## Taulukko 15.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: SOK

pvm: 10.3.2008

klo: 20:42:59

ampu nro: 9

Linja1	mp1			mp2			mp3			mp4			mp5		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	178	213	187										1.14	3.94	1.02
taajuus Hz	20	>100	>100										39	7.9	20
kihtyvyys g	16.8	29.3	22.1										0.0795	0.0928	0.0928
siirtymä mm	2.59	4.16	3.2										0.0122	0.0658	0.0109
PVS	276 mm/s												3.98 mm/s		

Linja2	mp6			mp7			mp8			mp9			mp10		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s							44.4	38.7	44.2	16.6	23.2	26.3			
taajuus Hz							>100	>100	>100	>100	85	>100			
kihtyvyys g							8.05	5.46	7.42	2.72	2.49	3.83			
siirtymä mm							0.0895	0.0244	0.0216	0.137	0.0464	0.0231			
PVS							51.0 mm/s			36.2 mm/s					

Linja3	mp11			mp12			mp13			mp14			mp15		
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	27.4	69.1	32												
taajuus Hz	>100	>100	>100												
kihtyvyys g	4.1	7.83	5.16												
siirtymä mm	0.05	0.0411	0.656												
PVS	71.8 mm/s														

## CITY-CENTERIN MITTAUSTULOKSET

## Taulukko 16.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: Makkaratalo

pvm: 18.3.2008

klo: 21:00:39

ampu nro: 1

Linja1	mp1			mp2			mp3								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	1.02	1.78	2.67												
taajuus Hz	>100	>100	>100												
kihtyvyys g	0.106	0.265	0.225												
siirtymä mm	0.00192	0.00248	0.00347												
PVS	2.87 mm/s														

Linja2	mp4			mp5			mp6								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	4.19	3.05	4.19	2.03	2.16	2.29									
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	64									
kihtyvyys g	0.318	0.345	0.318	0.199	0.239	0.212									
siirtymä mm	0.0062	0.00285	0.00564	0.00391	0.00254	0.00453									
PVS	4.66 mm/s			2.76 mm/s											

Linja3	mp7			mp8			mp9								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	4.7	3.81	4.7	5.84	3.81	4.95	5.59	2.16	5.71						
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100						
kihtyvyys g	0.424	0.398	0.464	0.477	0.345	0.61	0.65	0.278	0.636						
siirtymä mm	0.00508	0.00366	0.00459	0.00645	0.00397	0.00676	0.00571	0.00236	0.00571						
PVS	6.20 mm/s			7.25 mm/s			7.82 mm/s								

## LIITE 1

## Taulukko 17.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: Makkaratalo

pvm: 19.3.2008

klo: 17:54:24

ampu nro:

2

Linja1	mp1			mp2			mp3								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	1.4	2.16	1.78												
taajuus Hz	85	>100	>100												
kihtyvyyys g	0.119	0.252	0.186												
siirtymä mm	0.00217	0.00217	0.00205												
PVS	2,54 mm/s														
Linja2	mp4			mp5			mp6								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	3.3	2.41	3.17	2.16	2.54	2.41									
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100									
kihtyvyyys g	0.292	0.265	0.278	0.212	0.292	0.199									
siirtymä mm	0.00397	0.0026	0.00434	0.0026	0.00211	0.00434									
PVS	3,69 mm/s			2,78 mm/s											
Linja3	mp7			mp8			mp9								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	4.7	3.68	6.22	6.1	3.81	8	5.84	2.54	5.71						
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100						
kihtyvyyys g	0.49	0.371	0.53	0.689	0.464	0.954	0.901	0.278	0.742						
siirtymä mm	0.0044	0.00428	0.00602	0.00508	0.00378	0.00657	0.0288	0.00242	0.00558						
PVS	6,38 mm/s			9,80 mm/s			7,35 mm/s								

## Taulukko 18.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: Makkaratalo

pvm: 25.3.2008

klo: 20:59:53

ampu nro:

3

Linja1	mp1			mp2			mp3								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	2.16	5.59	3.17												
taajuus Hz	>100	>100	>100												
kihtyvyyys g	0.225	0.583	0.345												
siirtymä mm	0.00229	0.00391	0.0031												
PVS	5,69 mm/s														
Linja2	mp4			mp5			mp6								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	4.95	3.68	4.7	3.56	3.43	3.94	2.03	1.14	2.03						
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	51	>100	>100						
kihtyvyyys g	0.345	0.437	0.53	0.318	0.676	0.398	0.106	0.106	0.146						
siirtymä mm	0.00645	0.00372	0.0067	0.0044	0.0031	0.00769	0.00508	0.00174	0.00242						
PVS	5,41 mm/s			4,22 mm/s			2,42 mm/s								
Linja3	mp7			mp8			mp9								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	8.13	9.02	10.4	11.8	11.2	15.4	11.2	5.59	10.3						
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100						
kihtyvyyys g	0.981	1.06	1.27	1.43	1.25	1.52	1.27	0.689	1.25						
siirtymä mm	0.00998	0.00502	0.00918	0.00899	0.00874	0.013	0.0137	0.00422	0.00707						
PVS	13,2 mm/s			17,2 mm/s			14,0 mm/s								

## LIITE 1

## Taulukko 19.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: Makkaratalo

pvm: 27.3.2008

klo: 20:59:08

ampu nro:

4

Linja1	mp1			mp2			mp3								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	2.16	4.95	2.79												
taajuus Hz	>100	>100	>100												
kiiktyvyys g	0.212	0.623	0.318												
siirtymä mm	0.00372	0.00273	0.00174												
PVS	5,52 mm/s														
Linja2	mp4			mp5			mp6								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	2.79	3.81	3.81	2.41	2.92	3.43									
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100									
kiiktyvyys g	0.358	0.384	0.384	0.305	0.411	0.318									
siirtymä mm	0.00434	0.00291	0.00285	0.008434	0.00242	0.00434									
PVS	4,58 mm/s			4,31 mm/s											
Linja3	mp7			mp8			mp9								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	7.49	7.24	7.37	11.2	7.62	18.8	11	4.44	12.3						
taajuus Hz	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100						
kiiktyvyys g	0.901	0.915	0.822	1.39	1.37	1.35	1.5	0.597	1.34						
siirtymä mm	0.00992	0.00372	0.00695	0.0101	0.00422	0.0132	0.0441	0.00409	0.00837						
PVS	8,83 mm/s			17,0 mm/s			14,8 mm/s								

## Taulukko 20.

MITTAUSTULOKSET

Paikka: Makkaratalo

pvm: 27.3.2008

klo: 20:59:21

ampu nro:

5

Linja1	mp1			mp2			mp3								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	4.06	6.22	4.57	2.92	2.79	5.59	2.03	2.67	2.79						
taajuus Hz	73	>100	>100	64	85	57	73	85	51						
kiiktyvyys g	0.225	0.994	0.451	0.133	0.172	0.225	0.119	0.146	0.159						
siirtymä mm	0.0156	0.00434	0.00496	0.00775	0.00434	0.0127	0.00384	0.00415	0.00974						
PVS	6,78 mm/s			5,93 mm/s			3,94 mm/s								
Linja2	mp4			mp5			mp6								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	8	3.17	7.37	5.33	3.81	6.48									
taajuus Hz	85	>100	>100	85	85	64									
kiiktyvyys g	0.411	0.278	0.676	0.371	0.411	0.358									
siirtymä mm	0.0125	0.00533	0.0109	0.00794	0.00502	0.0153									
PVS	8,11 mm/s			6,88 mm/s											
Linja3	mp7			mp8			mp9								
	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long	tran	vert	long
nopeus mm/s	15.5	8.89	12.7	8.76	11	12.6	12.8	5.33	12.6						
taajuus Hz	85	>100	>100	>100	>100	57	>100	>100	>100						
kiiktyvyys g	1.22	0.941	1.34	0.835	1.47	0.848	1.56	0.557	1.41						
siirtymä mm	0.022	0.00943	0.0118	0.0105	0.0139	0.0247	0.0369	0.00676	0.0202						
PVS	18,7 mm/s			14,2 mm/s			16,6 mm/s								

LIITE 2 Aikahistoriakäyrä



Event Report

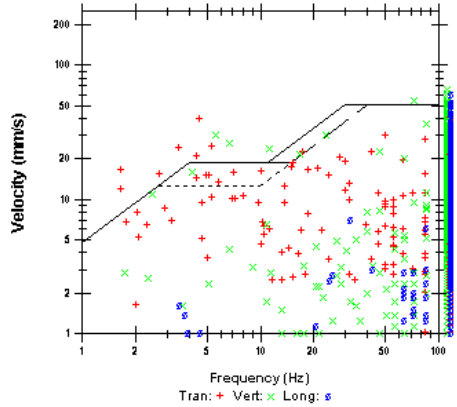
Date/Time	Vert at 19:17:36 February 27, 2008	Serial Number	BE5627 V 8.01-4.32 MiniMate Plus
Trigger Source	Geo: 2.00 mm/s	Battery Level	6.6 Volts
Range	Geo :254 mm/s	Calibration	May 1, 1997 by Instanter Inc.
Record Time	7.0 sec at 1024 sps	File Name	G627C32L.LCO
Job Number:	2222		

Notes  
 Location: p-flemari  
 Client: Nikko  
 User Name: Kalliotekniikka CE Oy p. 09 - 272 7890  
 General: MP1

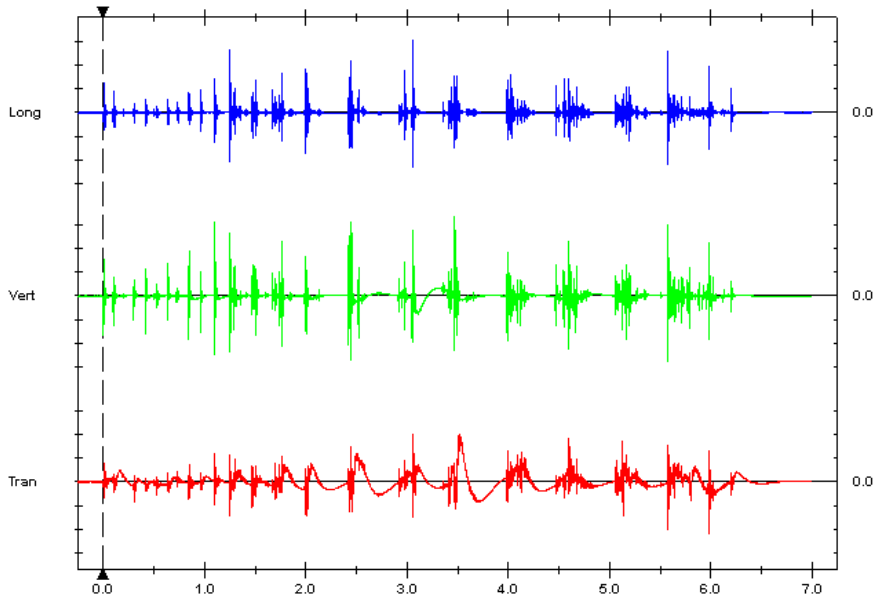
Post Event Notes

	Tran	Vert	Long	
PPV	43.7	67.6	62.0	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	5.983	3.470	3.055	sec
Peak Acceleration	7.53	11.6	10.9	g
Peak Displacement	1.54	0.530	0.0413	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	

USBM R18507 And OSMRE



Peak Vector Sum 86.4 mm/s at 5.573 sec



Time Scale: 0.50 sec/div Amplitude Scale: Geo: 20.0 mm/s/div  
 Trigger =

## LIITE 2 Taajuuskäyrä



### FFT Report

Date/Time	Vert at 19:17:36 February 27, 2008	Serial Number	BE5627 V 8.01-4.32 MiniMate Plus
Trigger Source	Geo: 2.00 mm/s	Battery Level	6.6 Volts
Range	Geo :254 mm/s	Calibration	May 1, 1997 by Instantel Inc.
Record Time	7.0 sec at 1024 sps	File Name	G627C32L.LCO
Job Number:	2222		

Notes  
 Location: p-flemari  
 Client: Nikko  
 User Name: Kalliotekniikka CE Oy p. 09 - 272 7890  
 General: MP1

#### Post Event Notes

