

HERKKIEN LAITTEIDEN TÄRINÄERISTYS LOUHINTATÄRINÄLTÄ

Vesa Sinervo

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2012
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infratekniikka
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infratekniikka

SINERVO, VESA: Herkkien laitteiden värinäeristys louhintavärinäältä

Opinnäytetyö 94 s., liitteet 17 s.
Huhtikuu 2012

Työn tarkoituksena oli tarkastella värinäherkän laitteen eristämistä louhintavärinäältä sekä tutkia uusia eristysmateriaaleja. Herkille laitteille asetetut raja-arvot rajoittavat louhintatyötä merkittävästi ja nostavat kustannuksia. Tarkastelun kohteena oli myös värinäaaltojen eteneminen maaperässä sekä niiden aiheuttama riski laitteen vaurioitumiselle etäisyyden ollessa 100–200 m. Työn toimeksiantaja oli Oy Finnrock Ab.

Työmenetelmänä on käytetty kirjallisuustutkimusta, haastatteluja ja kokeellisia mittauksia. Kirjallisuudesta selvitettiin olemassa olevat teoriat louhintavärinän syntyyn ja etenemiseen, sekä värinäeristysmateriaaleihin liittyen. Värinän aiheuttamaa riskiä ympäristölle ja herkille laitteille arvioitiin eri tahojen asettamien ohjearvojen mukaan.

Kokeellisessa osuudessa värinää mitattiin louhintatyömaan läheisyydessä sijaitsevassa kiinteistössä kuudella kolmikomponenttimittarilla. Mittaussuureina käytettiin pääasiassa kiihtyvyyden ja taajuuden, mutta myös heilahdusnopeuden ja siirtymän arvoja. Työssä tutkittiin erityisesti Sylodyn® ja Sylomer® värinäeristinmateriaaleilla saavutettavia etuja verrattuna perinteisiin materiaaleihin. Laskentaohjelmalla laskettiin eristemateriaalien teoreettinen eristyskyky ja niitä verrattiin saatuihin mittaustuloksiin. Eristyksellä saavutettavien hyötyjen lisäksi tutkittiin värinäaalton käyttäytymistä eristämättömässä vertailuliniessä sekä arvioitiin eristämättömän palvelimen vaurioitumisriskiä.

Eristämisyydelle laadittiin työohje tutkimuksen toimeksiantajan käyttöön. Ohjeessa kuvaillaan optimoitu työn suorittaminen sekä työstä aiheutuvat mahdolliset riskitekijät.

Tutkimuksen perusteella taajuudeltaan matalien värinöiden eristäminen on perusteltua. Värinän voimistuminen laitteessa voi aiheuttaa raja-arvon ylityksiä vielä pitkällä etäisyyksillä. Voimistuminen on aina tapauskohtaista, joten laitteeseen kohdistuvan värinän mittaustapa pitää yhtenäistää. Mittauspaikan vaikutukset mittaustuloksiin ja värinän voimistuminen rakenteessa vaativat lisätutkimuksia. Lisäksi räjäytyksen iskusta aiheutunutta todennäköistä herkän laitteen vauriota on syytä tutkia lisää.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction
Option of Infrastructure Construction

SINERVO, VESA: Isolation of Sensitive Equipment from Blasting Vibration

Bachelor's thesis 94 pages, appendices 17 pages
April 2012

The purpose of this thesis was to study isolation of vibration sensitive equipment from blasting vibration. Other aim was to study benefits gained by using new materials manufactured for isolation. Permitted vibration values for sensitive equipment limit blasting and increase its costs. Focus was on propagation of blasting vibration and on the risk it causes to equipment at the distances of 100–200 m. Commissioner of this thesis was Ltd Finnrock Inc.

The methods used on this research were literature survey, interviews and experimental studies. Current knowledge and theories about generation and propagation of blasting vibration were examined. Also existing information about isolation materials and permitted vibration values were assessed.

The experimental part consisted of measuring blasting vibration. Measurements were done in a property near construction site with six triaxial vibration monitors. Measured variables were mainly acceleration and frequency but also vibration and amplitude values. Emphasis of this study was on Sylodyn® and Sylomer® isolation materials and their advantages over more commonly used materials. Theoretical isolation levels were calculated and compared to results from measurements. In addition, blast wave behavior in the equipment itself was studied with non-isolated equipment. Also a running server was used to evaluate the risk of damage caused by a blast wave shock.

Optimized guide for installation of isolation materials was created for the conductor of this thesis. Guide lists all phases and risks related to isolation work.

Results indicate that isolation of low frequency blast waves is justifiable. Resonance effect can cause limit breaking vibration values in the equipment itself even at long distances and this still needs further study. Place of measurement has to be standardized to avoid different variables changing the nature of the vibration.

Key words: Blasting Vibration, Shock, Isolation, Sensitive equipment, Sylodyn

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 LOUHINTARÄJÄYTYKSEN AALTO-OPPIA	9
2.1 Värähtely	9
2.2 Aaltoliike	10
2.3 Interferenssi	13
2.4 Aaltoliikkeen taitto ja heijastuminen.....	14
2.5 Räjähdyksestä aiheutuvat aaltotyypit kallioperässä	15
2.6 Kimmoaallot	16
2.7 Tärinäaallon vaikutukset rakenteisiin.....	18
2.7.1 Ominaisvärähtely	19
2.7.2 Rakenteiden värähtelyjen ominaismuodot.....	21
3 MAAPERÄN DYNAMIIKKA	22
3.1 Geologiset tekijät maantärinöissä.....	22
3.2 Tärinäaaltojen vaimeneminen	23
3.2.1 Geometrinen vaimeneminen	23
3.2.2 Materiaalivaimeneminen	24
3.2.3 Kokonaisvaimeneminen.....	24
3.3 Räjähdyksen aiheuttaman tärinän arviointi	25
4 TÄRINÄN OHJEARVOJA	27
4.1 Rakennusinsinööriliiton suositukset.....	27
4.2 Ruotsalainen standardi	28
4.3 Saksalainen normi	29
4.4 Amerikkalainen standardi.....	30
5 HERKÄT LAITTEET.....	30
5.1 Taustaa.....	30
5.2 Vaikutukset louhintatyöhön	31
5.3 Taloudelliset vaikutukset.....	32
5.4 Tärinänsiedon ohjearovot	34
5.4.1 Ongelmat.....	34
5.4.2 IBM ohjearovot.....	36
5.4.3 VC-käyrät.....	37
5.4.4 ISO/TS	38
5.4.5 Mittauksen tai tuotannon asettama raja-arvo	38

5.4.6 Raja-arvojen kehitysehdotuksia	40
6 TÄRINÄN MITTAAMINEN	42
6.1 Tärinävaikutusten arviointi.....	42
6.2 Mittauslaitteet	44
6.2.1 Yleinen mittauskalusto	44
6.2.2 Kaukokäyttöiset kolmiakseliset tärinämittarit	44
6.2.3 Paikalla luettavat tärinämittarit.....	44
6.3 Tulokset ja niiden valvonta	45
6.4 Herkkään laitteeseen kohdistuva tärinä	45
6.5 Vahingonkorvausvastuu	46
7 HERKÄN LAITTEEN TÄRINÄNERISTYS	47
7.1 Passiivieristys	47
7.2 Eristyksen lähtökohdat	48
7.3 Tärinäeristyksen suunnittelu.....	48
7.4 Eristeen toimintaperiaate	51
7.5 Eristeen toimivuuteen vaikuttavat tekijät	52
8 ERISTEMATERIAALIT	54
8.1 Yleisesti	54
8.2 Polyetheuretaanit	56
8.2.1 Ominaisuudet	56
8.2.2 Sylomerit.....	57
8.2.3 Sorbothane	57
8.3 Kumilevyt ja – matot.....	58
8.4 Sovellukset	58
8.4.1 Teknikum	58
8.4.2 Novibra	59
8.4.3 Damtec	59
8.5 Jouset.....	59
9 TUTKIMUS	60
9.1 Testityömaan valinta	60
9.2 Tutkimuskohteen valinta	61
9.3 Käytetyt menetelmät.....	62
9.4 Tulokset	66
9.5 Referenssi mittauspiste.....	67

9.6 Tärinäeristyksen tulokset.....	68
9.6.1 Sylodyn tulokset	70
9.6.2 Teknikum tulokset	71
9.6.3 Sylomer tulokset	73
9.7 Käytännön ongelmatilanne.....	74
10 ERISTYSTYÖN LAATU	76
10.1 Eristystyö yleisesti.....	76
10.2 Eristysmateriaalin valinta	76
10.3 Työturvallisuus	82
10.4 Optimaalinen ja onnistunut eristystyö	83
11 TULOSTEN TARKASTELU	84
11.1 Johtopäätökset	84
11.2 Sylodynin soveltuvuus	87
12 YHTEENVETO	90
VIITELUETTELO	91
LIITTEET	94

1 JOHDANTO

Kiviaineksen louhinnalla on monenlaisia ympäristövaikutuksia, joista osa aiheuttaa haittoja ja riskejä. Yksi merkittävimmistä haittailmiöistä on louhinnasta aiheutuva tärinä, jota pyritään hallitsemaan kiinnittämällä siihen huomiota jo louhintatyön suunnitteluvaiheessa. Louhinta pyritään suorittamaan kustannustehokkaasti ympäristöhuomioiden käyttäen rakennusten asettamia raja-arvoja ja suurinta mahdollista panostusta. Tärinäherkät laitteet saattavat rajoittaa louhintatyötä merkittävästi niiden teoreettisen tärinänkestävyyden ollessa vain murto-osan rakennuksille sallituista. Rajoittavat tekijät kartoitetaan ja pyritään eliminoimaan ennen louhinnan aloitusta eristämällä ne louhintätärinältä. Hyvin yleisiä herkkiä laitteita ovat mm. kovalevyt, joiden vaurioituminen tai rikkoutuminen louhinnan aikana voi johtaa mittaviin kustannuksiin.

Eristämistyöstä ei ole olemassa työohjeita. Nykyiset työmenetelmät perustuvat yritysten hiljaiseen tietoon ja ne poikkeavat toisistaan työn suorittajien välillä. Keskeisenä ongelmana eristämistyön suunnittelussa ja toteutuksessa ovat erittäin vaihtelevat olosuhteet ja usein laitteista saadut puutteelliset tai jopa väärät lähtötiedot. Laitteiden massa on harvoin saatavissa tai mitattavissa ja se on lähes poikkeuksetta epätasaisesti jakautunut. Osa nykyisistä työmenetelmistä aiheuttaa tarpeettomia riskejä eristettävälle laitteelle ja työntekijälle. Louhinnasta aiheutuvien tärinäaaltojen syntymiseen ja ominaisuuksiin vaikuttavia asioita on monia ja yhdessä rakenteiden ominaisuuksien kanssa nämä vaikuttavat tärinäeristimien toimivuuteen. Tätä käsitellään tutkimustyön teoriaosuudessa.

Tärinäherkkien laitteiden eristimiä on tutkittu vain vähän käytännössä. Herkkien laitteiden sekä eristemateriaalien osalta tieto perustuu pääasiassa teoreettisiin laskelmiin sekä laitevalmistajien ja tavarantoimittajien antamiin tietoihin. Tässä työssä tavoitteena on tutkia yleisimpien tärinäeristeiden toimivuutta käytännön tilanteessa sekä verrata saatuja tuloksia teoreettisiin laskelmiin ja laitteille asetettuihin ohjearvoihin.

Hyvää rakennustapaa noudattaen herkkien laitteiden eristäminen louhintätärinältä tulee toteuttaa siihen tarkoitettulla materiaalilla. Työn päätavoitteena oli tutkia polyetheuretaanista valmistettavia Sylodyn® ja Sylomer® materiaaleja tärinäeristeenä, joiden toimivuudesta on pääasiassa vain teoreettista tietoa. Louhinnasta alle 100 metrin päässä suoritettua tärinäeristyksestä kyseisillä materiaaleilla on kertynyt jonkin verran käytän-

nön kokemuksia, mutta etäisyyksien kasvaessa tieto niiden toimivuudesta on puutteellinen. Yleisimmin käytetyt tärinäeristeet ovat aikaisemmin olleet kumista valmistettuja, ja näistä yleisintä tutkitaan tässä työssä päätavoitteen ohella.

Tutkimuksen toisessa osassa tarkastellaan eristystyön laatua ja sitä miten siihen voidaan vaikuttaa. Tavoitteena on luoda esitys siitä miten eristys tulisi suunnitella ja suorittaa mahdollisimman optimaalisesti. Eristämistyöstä aiheutunutta laitteen vaurioitumisen riskiä louhinnan ja eristystyön seurauksena, sekä säästetään kustannuksissa. Tieto on kerätty haastattelemalla eristystöitä tehneitä henkilöitä, sekä tutkimalla käytännön esimerkkejä. Tutkimuksessa vertaillaan myös eristämistapojen taloudellisia ja turvallisuustekijöitä.

Tutkimuksessa tarkastellaan vain louhinnan aiheuttaman lyhytkestoisen tärinän eristämistä herkstä laitteesta. Eristystapana käytettiin laitteen eristämistä ympäristöstä tärinäeristimin. Tutkittavassa kohteessa esiintyi vain matalataajuisia tärinäaaltoja. Herkstä laitteesta esimerkkinä on käytetty palvelinkaappia. Työohje laaditaan pääasiassa Sy-lodyn® materiaaleista valmistetulle eristeelle, mutta se pätee myös muille materiaaleille.

2 LOUHINTARÄJÄYTYKSEN AALTO-OPPIA

2.1 Värähtely

Värähdysliikettä tapahtuu, kun kappaleen liikkeen aikana siihen kohdistuvan voiman suuruus ja suunta muuttuvat. Liikkeen samat vaiheet toistuvat tasapainoaseman ympärillä tietyin aikavälein, eli se on jaksollista liikettä. Esimerkiksi kiinteän aineen atomien tai molekyylien lämpöliike ovat värähdysliikkeitä. Kappaleen liike tietystä vaiheesta takaisin samaan vaiheeseen on yksi värähdys eli jakso. Jaksonajaksi kutsutaan yhteen värähdykseen kuluvaa aikaa. Kappaleen suurinta poikkeamaa tasapainoasemastaan sanotaan amplitudiksi A , joten värähtely tapahtuu välimatkalla $2A$. (Lehto & Luoma 1994, 123, 126.)

Värähdysliikkeen taajuus eli frekvenssi lasketaan kaavasta (1):

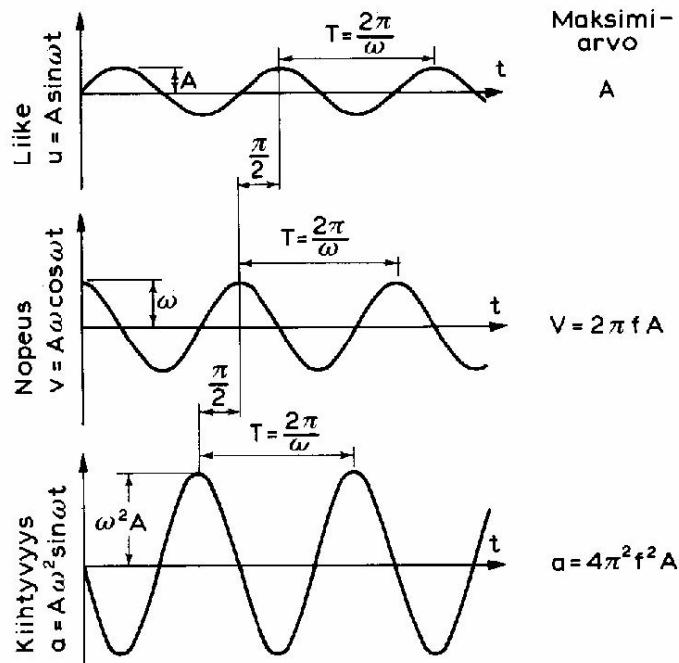
$$f = \frac{n}{T} \quad (1)$$

f = taajuus

n = värähtelyjen lukumäärä /s

T = Jaksonaika eli värähdykseen kulunut aika sekunneissa (Hz = 1/s)

Harmoniseksi värähtelyksi sanotaan värähtelyä, jossa tasapainoasemastaan poikkeutettuun kappaleeseen vaikuttaa harmoninen voima. Harmoniseksi voimaksi kutsutaan voimaa, joka suuntautuu aina kohti tasapainoasemaa ja on suoraan verrannollinen tasapainoasemasta mitattuun etäisyyteen. Voiman suuntaa korostetaan miinusmerkillä. (Lehto & Luoma 1994, 124, 126.) Rakennetta poikkeuttaessa louhintaräjähdyksen aiheuttamalla impulssimaisella kuormituksella, se alkaa värähdellä tasapainoasemansa suhteen. Harmoninen värähtely voidaan esittää kuvan 1 osoittamalla tavalla ajan suhteen. Matemaattisesti sitä kuvataan ympyräliikkeenä.



KUVA 1. Sinimuotoinen eli harmoninen heilahdus (Vuolio 2010, 299).

Värähtelevä kappale ei pysähdy ja sen amplitudi kasvaa, jollei siihen kohdistu ulkoisia voimia. Käytännössä näitä ulkoisia voimia ovat esimerkiksi väliaineen vastus ja kitka, jotka vähitellen hidastavat liikettä. Amplitudi saavuttaa tietyn arvon vaimentavien voimien seurauksesta siten, että värähtelijän vastaanottama ja luovuttama energia ovat yhtä suuret. (Lehto & Luoma, 124.)

Heilahdusliikkeissä on yleensä eri taajuudella värähteleviä komponentteja, jotka voidaan Fourier-analyysillä erottaa kokonaisvärähtelystä. Louhintaräjähdyksen aiheuttaman lyhytkestoisen iskun värähtely ei ole harmonista, mutta siinäkin värähtelyn komponentit voidaan erottaa Fourier-analyysillä toisistaan. Tässä tapauksessa taajuussisältö riippuu siitä miten pitkää jaksoa tarkastellaan ja mistä värähtelyn vaiheesta analyysi tehdään. (Fourier Series; TTY 2009, 7.)

2.2 Aaltoliike

Värähtelijöiden yhdessä muodostamaa liikettä kutsutaan aaltoliikkeeksi. Etenevässä aaltoliikkeessä aineen rakennehiukkasten vuorovaikutukset siirtävät energiaa, mutta itse aine ei etene. Esimerkiksi louhintatärinä on aineessa etenevä mekaaninen aaltoliike, joka synnyttää maahan häiriön. Kuvan 1 mukainen harmoninen heilahdus on yksinker-

taisin heilahdusliike. Vaikkei heilahdus luonnossa juuri koskaan ole sinimuotoista, voidaan räjäytyksen aiheuttamaa maantärinää käytännön vaatimissa tarkkuuksissa pitää ”siniheilahduksena”. Mekaaninen aaltoliike jaetaan usein poikittaiseen ja pitkittäiseen aaltoliikkeeseen. Rajapinta-aallot, jotka etenevät aineen rajapinnoissa ovat usein yhdistettyä aaltoliikettä. (Langefors & Kihlström 1978; Lehto & Luoma 1994, 138.)

Kuvan 1 mukaan:

$$u = A \sin \omega T \quad (2)$$

u = poikkeama hetkellä ωT

T = jakson aika

ω = kulmataajuus

Derivoimalla ajan T suhteen poikkeamasta u , saadaan nopeus v ja siitä edelleen kiihtyvyys a . Funktioiden maksimiarvoina saadaan:

$$v = 2 \pi f A \quad (3)$$

$$a = 4 \pi^2 f^2 A \quad (4)$$

Yleisimmin räjäytyksen aiheuttamien tärinöiden tarkkailuun käytetään kaavoja (3) ja (4), joiden tekijät ilmoitetaan seuraavissa mittayksiköissä:

A = siirtymän heilahdusamplitudi (mm tai $\mu = 1/1000$ mm)

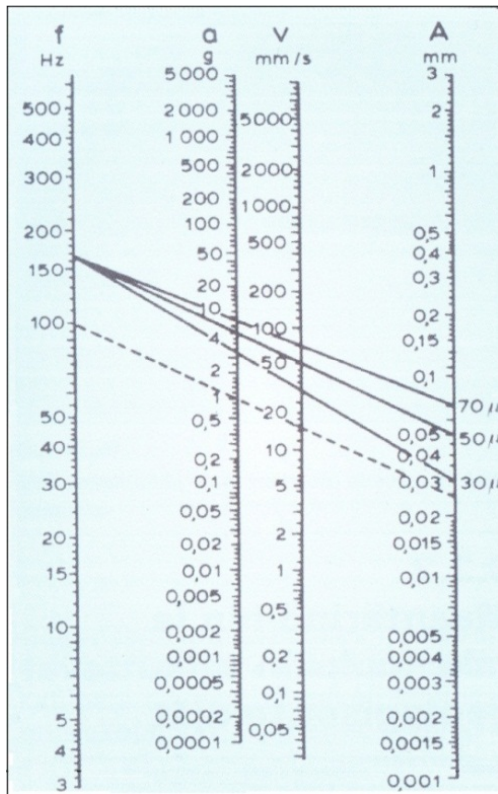
f = taajuus (Hz)

v = heilahdusnopeus (mm/s)

a = kiihtyvyys (m/s^2), yleensä vapaan putoamisliikkeen kiihtyvyyden, g , kerrannaisina;

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (noin)

Ominaisia syy-seurausyhteyksiä aaltoliikkeellä on esimerkiksi taajuuden ja värähdysajan riippuvuus aaltolähteestä. Väliaine ja värähtelijöiden väliset kytkennät vaikuttavat osaltaan aallon nopeuteen ja värähdysuuntaan. Kaavojen (2–4) väliset riippuvuudet voidaan osoittaa kuvan 2 nomogrammilla.



KUVA 2. Viivotinnomogrammi aaltoliikkeen riippuvuuksista (Vuolio 2010, 299).

Aallonpituus määräytyy kaavan (5) mukaan taajuuden eli värähdysajan ja etenemisnopeuden mukaan. Aaltoliikkeen etenemisnopeus voidaan laskea seuraavasti:

$$v = \frac{\lambda}{T} = f \lambda \quad (5)$$

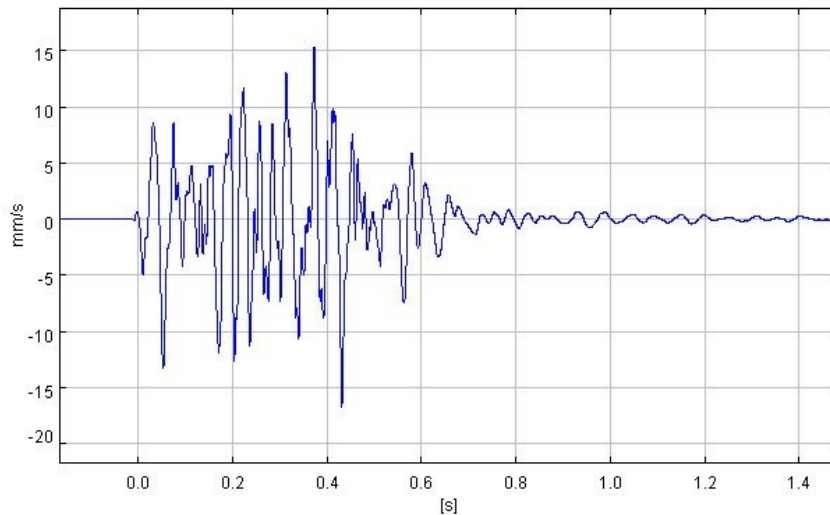
T = värähdysaika

λ = aallonpituus

f = taajuus

Kyseistä yhtälöä sanotaan aaltoliikkeen perusyhtälöksi. Lähes kaikki aaltoliikkeet noudattavat sitä. (Lehto & Luoma 1994, 139.)

Louhinnasta aiheutuva värinäaalto luokitellaan yhden tai useamman hitaasti toistuvan iskun aiheuttamaksi satunnaiseksi tapahtumaksi (Amick & Gendreau 2000, 6). Yleinen värinäaallon esitystapa on aikajana, jossa iskusta aiheutuva äkillinen amplitudi vaihtelee ajan kuluessa (kuva 3). Tätä tarkastelutapaa kutsutaan yleisesti aikahistoria käyräksi.

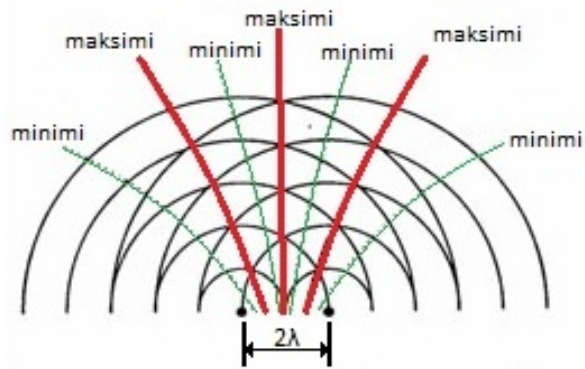


KUVA 3. Avolouhinnan aiheuttama heilahdusnopeus rakenteessa.

2.3 Interferenssi

On tavallista, että useita aaltoliikkeitä etenee samanaikaisesti samassa väliaineessa. Tätä aaltoliikkeiden yhteisvaikutusta sanotaan interferenssiksi ja sen tuloksena syntyvää summa-aaltoa interferenssiaalloksi. (Lehto & Luoma 1994, 159.) Aaltoliikkeen eritaajuisien komponenttien vaikutuksia voidaan tarkastella erottamalla ne toisistaan ja lasquemalla niitä yhteen superpositioperiaatteen mukaisesti. Siinä kunkin värähtelijän poikkeama on yksityisten aaltoliikkeiden aiheuttamien poikkeamien vektorisumma. (TTY 2009; Lehto & Luoma 1994, 159.)

Kun aaltojen poikkeamat ovat samansuuntaiset, aaltoliikkeet vahvistavat toisiaan eli kyseessä on konstruktiiivinen interferenssi. Vastaavasti jos poikkeamat ovat vastakkaisuuntaiset, aaltoliikkeet heikentävät toisiaan destruktiivisesti (kuva 4). Interferenssiä tapahtuu erityisesti rajapinta-aalloissa, mutta se on tunnusomaista kaikille aaltoliikkeille. Louhintatyössä aaltoliikkeiden ja värinän yhteisvaikutusta voi esiintyä, kun räjäytetään hidastimilla useampia reikäpanoksia sekä useampia reikiä samalla nallinumerolla. (Lusk ym. 2009, 2–9.)

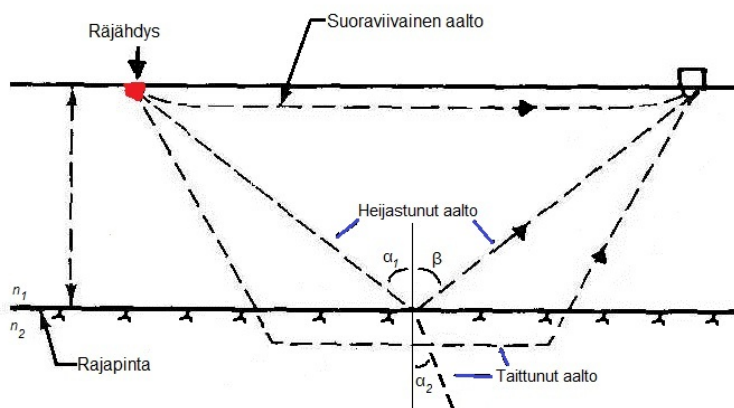


KUVA 4. Louhintaräjätysten tärinäaaltojen aiheuttamat konstruktivisen interferenssin maksimiarvot ja destruktiivisen interferenssin minimiarvot.

2.4 Aaltoliikkeen taitto ja heijastuminen

Aaltoliikkeen heijastumista tapahtuu esimerkiksi kallion ja saven rajapinnassa, josta osa aaltoliikkeen energiasta heijastuu takaisin. Energiaa heijastuu enemmän vertailtavien aineiden kiinteyden eron kasvaessa. Rajapinnan läpäisevän energian osuus vastaavasti pienenee ja osa siitä voi vielä taittua. (Lehto & Luoma 1994, 151–152.)

Kuvassa 5 aalto saapuu kahden erilaisen aineen rajapintaan kulmassa α_1 pinnan normaalin nähden. Osa aaltoliikkeen energiasta heijastuu ja osa jatkaa läpi rajapinnan ja taittuu. Heijastuslain mukaan tulokulma α_1 ja heijastuskulma β ovat yhtä suuret. Kulma α_2 on nimeltään taitekulma. Aaltoliikkeen taajuus ei muutu taittumisessa taittumislain mukaan. (Lehto & Luoma 1994, 151–152.)



KUVA 5. Aaltoliikkeen heijastuminen ja taitto (Vuolio 2010, 300, muokattu).

Aaltoliikkeen nopeus riippuu väliaineesta, joten taitesuhde on ainesparille ominainen vakio. Aaltoliikkeen taitekulma riippuu tulokulman lisäksi aaltoliikkeen nopeudesta kyseisissä aineissa. Aaltoliikkeen etenemisnopeus on aina pienempi aalto-opillisesti tiheämmässä aineessa. (Lehto & Luoma 1994, 151.)

Aaltoliikkeen etenemissuunta kääntyy pinnan normaalin suuntaan ($\alpha_2 < \alpha_1$), kun aalto saapuu harvemmasta aineesta tiheämpään aineeseen. Tällöin aaltoliikkeen nopeus pienenee rajapinnan ylityksen jälkeen. Ilmiö on päinvastainen, kun aalto saapuu tiheämmästä aineesta aalto-opillisesti harvempaan aineeseen. (Lehto & Luoma 1994, 154.) Aaltojen taittoa ja heijastusta esiintyy eniten silloin, kun tärinä on jatkuvaa (Vuolio 2010, 301). Räjätystöissä tärinä on lyhytkestoista, jolloin kyseisiä ilmiöitä esiintyy harvemmin. Pitkillä etäisyyksillä ilmiötä voi kuitenkin esiintyä myös loushintatöissä.

2.5 Räjätystöstä aiheutuvat aaltotyypit kallioperässä

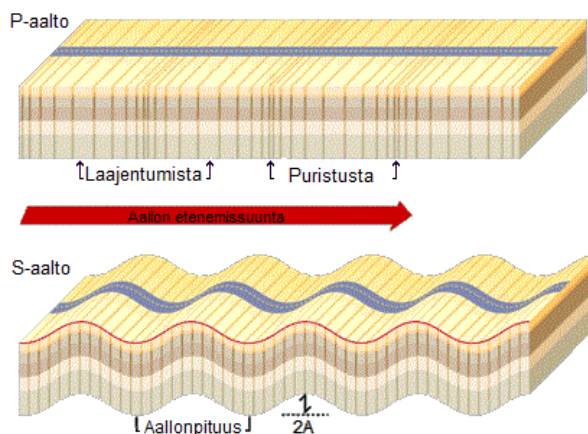
Loushintaräjätystyksessä porareikään syntyy lyhytaikainen ja voimakas paine, joka saa aikaan kalliossa vastareaktioita. Tämä aiheuttaa aineen tiivistymistä ja pienen alueen murskautumista. Loppuosa paineaallon voimasta etenee väliaineessa noin 0,2 mikrosekuntia kestävässä shokkiaaltona, jonka energia on keskittynyt ohueen pallomaiseen kuoreen. Shokkiaalto on nopein kaikista räjähdyksen aiheuttamista aaltoliikkeistä. Se tiivistää ja rikkoo kalliota, jolloin sen energiaa häviää ja etenemisnopeus pienenee. (Vuolio 2010, 299.) Alueella, jolla räjätystyksen vapauttava energia ei enää riitä rikkomaan kalliota, havaitaan paine tärinänä. Ylimääräinen vapautuva energia saa aikaan paitsi tärinää, myös lämpöä ja ilmanpaineaallon. (Aatos 2003, 94.)

Shokkiaalto vaimenee plastiseksi aalloksi, jolloin sen vaikutuksilla ei ole kivilajien haurauden vuoksi merkitystä. Plastinen aalto on muuttunut kimmoaallocksi, kun se on vaimentunut siihen pisteeseen, että väliaineessa ei synny pysyviä muutoksia. Tällöin ainehiukkaset palaavat puristuksen ja vedon loputtua alkuperäiselle paikalleen. (Vuolio 2010, 299.)

2.6 Kimmoaallot

Kimmoaallot voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, runkoaaltoihin ja pinta-aaltoihin. Runkoaalloista ovat tunnetuimmat P-aallot ja S-aallot. (Vuolio 2010, 299.) P-aallot tunnetaan myös primääri tai puristus aaltoina ja niiden etenemisnopeus maaperässä on kimmoaaltojen nopein. Liike tapahtuu pitkittäisesti eli ainehiukkaset siirtyvät aallon etenemissuunnassa aiheuttaen maaperässä tiheyden muutoksia. (Larson 1988, 202.)

Sekundääriset S-aallot muuttavat maaperän muotoa, mutta eivät sen tiheyttä. Ne ovat pysty- ja vaakasuunnassa leikkaavia aaltoja, joissa liike tapahtuu poikittaisesti eli ainehiukkaset siirtyvät kohtisuorasti etenemissuuntaan nähden. (Larson 1988, 202). S- ja P-aaltojen aiheuttamat muutokset maaperässä on havainnollistettu kuvassa 6. S-aallot etenevät nopeudella, jonka suuruus P-aaltoihin nähden ilmaistaan usein lukuarvona $(1/3)^{1/2}$ eli 0,577. Lukuarvo pitää paikkansa kiinteässä kovassa kalliiossa. Esimerkiksi soramaassa kyseinen suhde on noin 0,45. (Vuolio 2010, 300.)

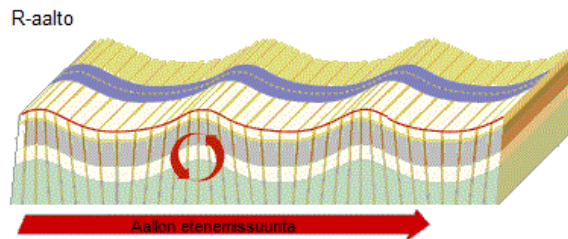


KUVA 6. P- ja S-aaltojen aiheuttamat muodonmuutokset (sms-tsunami-warning.com).

Pistemäisen panoksen räjähtäminen aiheuttaa homogeenisessa väliaineessa joka suuntaan tasaisen puristuksen, jolloin erään teorian mukaan syntyisi vain P-aaltoja. Käytännön räjähdyspanos, joka yleensä on sylinterimäinen, aiheuttaa myös leikkausta väliaineessa. Tästä johtuen syntyy räjäytyksissä sekä P- että S-aalto. (Vuolio 2010, 300.)

Pinta-aalloista on tunnetuin Rayleigh-aalto eli R-aalto. Se syntyy silloin, kun pyöristynyt runkoaalto kohtaa vapaan rajapinnan ja taipuu. Kuva 7 havainnollistaa miten R-aalto aiheuttaa ellipsin muotoisen liikkeen osittain väliaineen pinnan suuntaisena,

osittain kohtisuorassa suunnassa tätä pintaa vasten. R-aaltojen nopeus on korkeintaan 0,9 kertaa S-aaltojen nopeus. (Vuolio 2010, 300.) Larsonin (1988, 202) mukaan pinta-aallot vaimenevan nopeasti syvemmälle edetessä. Muita pinta-aaltoja ovat myös kahden erilaisen materiaalin rajapinnassa syntyvät Stoneley-aallot ja räjäytystutkimuksissa havaitut C- ja H-aallot (Vuolio 2010, 300).



KUVA 7. R-aallon aiheuttamat muodonmuutokset (sms-tsunami-warning.com).

Seismisissä tutkimuksissa tarkkaillaan yleensä P-, S- ja R-aaltoja. Jokainen näistä kolmesta aaltoliikkeestä voi lisäksi edetä kolmea eri tietä. Aalto voi edetä suoraviivaisesti tai se voi heijastua tai taittua kohdatessaan vapaan pinnan (2.4). Ainoastaan suorassa kulmassa saapuvassa aallossa puristus pysyy puristuksena ja leikkaus leikkauksena. Yleensä sekä P- että S-aallosta syntyy kaksi heijastunutta sekä kaksi taittunutta aaltoa. (Vuolio 2010, 300.)

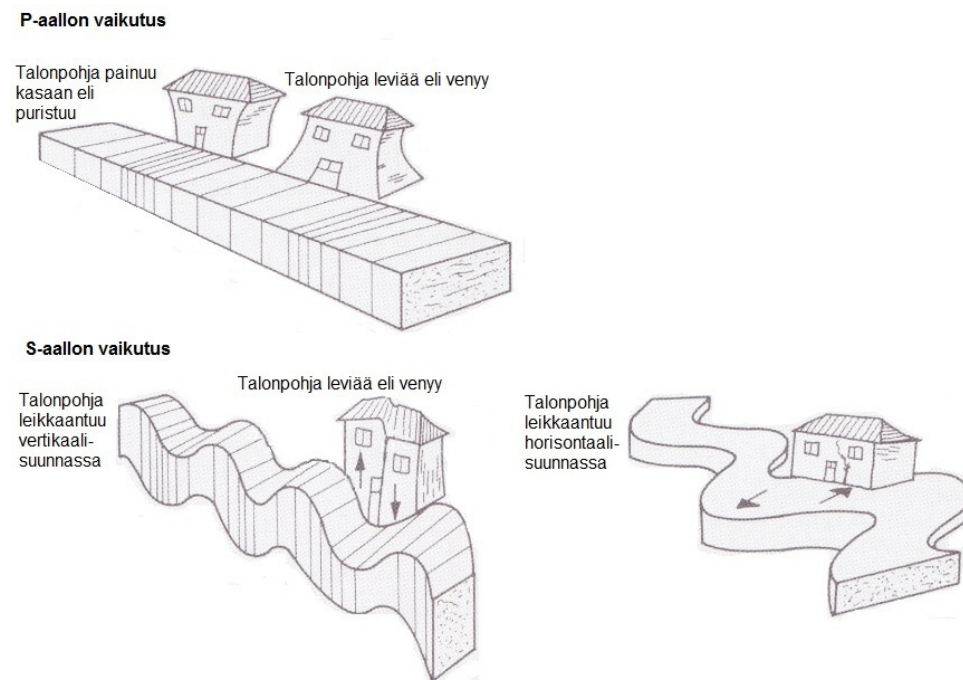
Energian jakautuminen aaltotyyppien kesken riippuu kuormituksesta ja olosuhteista. Taulukosta 1 (Miller & Pursey 1955, Richart 1970, 92, mukaan; Vuolio 2010, 300) nähdään esitykset kehittyvän energian jakautumisesta tarkastelutarkkuuksineen.

TAULUKKO 1. Energian kulkeutumisen prosentuaalinen jakautuminen.

Aaltotyyppi	Vuolio (2010)	Miller & Pursey (1955)
P-aalto	5–20	7
S-aalto	15–50	26
R-aalto	45–80	67

2.7 Tärinäaallon vaikutukset rakenteisiin

Vaurioituminen rakenteissa voi johtua venymästä, repeämästä tai taipumisesta kuvan 8 havainnollistamalla tavalla. Rakenteille aiheutuvien vaurioiden kannalta merkittävimmäksi tekijäksi on tutkimusten perusteella valittu tärinän taajuus. Matalilla taajuuksilla aallonpituus on lyhyt, jolloin raskaiden rakenteiden vaurioitumisriski on suurimmillaan (Vuolio 2010, 302). Taajuuden kasvaessa rakenteen vaurioitumisriski pienenee huomattavasti, vaikka heilahdusnopeus pysyisi samana.



KUVA 8. Tärinäkuormituksen aiheuttamat rakenteiden siirtymät (Vuolio 2010, 301).

Tunnelilouhinnan aiheuttamien tärinöiden vaikutuksia maanpinnan liikkeisiin on tutkittu muodostamalla niistä laskentamalli. Laskennan tuloksista on havaittu pinnan liikkeisiin vaikuttavien pinta-aaltojen jakaantuvan kahteen eri ryhmään. Toisen ryhmän aallonpituudet ovat mittaustulosten mukaan 1,5–2,0 kertaa pidemmät ja vain ne tulisi huomioida arvioitaessa rakenteiden vaurioitumisriskiä. (Li, Wang & Wang 2010.)

Rakenteen ominaistaajuus ja sen vaimentavat ominaisuudet, sekä räjäytysaallon taajuus ja amplitudi vaikuttavat siihen miten rakenne reagoi pinta-aaltoihin. Rakenteen vaimennus pienentää aallon ominaistaajuutta ja se on yleensä suuri maanvastaisilla rakenteilla, koska ne voivat säteillä energiaa aaltoliikkeenä maapohjaan. (TTY 2009, 8; Li ym.,

2010.) Käytettäessä pientä momentaanista räjähdemäärää ja pienillä vaimennussuhteilla maanpinnan liikkeiden taajuussisältö voidaan jättää huomioimatta. Kun kerralla räjäytettävä räjähdemäärä on suuri, taajuuden vaikutus vaurioriskiinkin kasvaa huomattavasti. Monikerroksisten rakennusten kerrosten liikehdinnällä on tällöin ison amplitudin ominaispiirteet (Li ym., 2010).

2.7.1 Ominaisvärähtely

Heilahdusamplitudin suuruus riippuu rakenteen vastaanottamasta energiasta. Vapaassa värähtelyssä jousivoiman (kx) ja massahitusvoiman (ma) suhde vaihtelee, niiden summan ollessa vaimentamattomassa vapaassa värähtelyssä 0, jolloin saadaan yhtälö (6). Yhtälössä ei ole otettu huomioon rakenteen aiheuttamaa vaimennusta. Vaimennus on yleensä rakenteen sisäistä tai liitosten materiaalivaimennusta, joka muuttaa värähtelyn lopulta kitkan välityksellä lämmöksi. (TTY 2009, 7–9.)

$$ma = kx \tag{6}$$

m = massa (kg)

k = jousivakio (N/m)

a = kiihtyvyys (m/s^2)

x = siirtymä (m)

Sijoittamalla kiihtyvyydeksi kuvan 1 mukaan $a = x\omega^2$, saadaan $mx\omega^2 = kx$ ja sieventämällä edelleen saadaan resonanssi 1. ominaiskulmataajuus:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{7}$$

ja merkitsemällä $\omega_n = 2\pi f_n$, saadaan ominaistaajuus:

$$f_n = \left(\frac{1}{2\pi}\right) \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{8}$$

Rakenteita suunniteltaessa on otettava huomioon kaikki ulkoiset voimat ja niiden aiheuttamat värähtelyt. Voimien aiheuttamien värähtelyjen vaihteluiden tapahtuessa rakenteen ominaistajuuksilla, saattaa värähtely voimistua ja aiheuttaa riskin rakenteen rikkoutumiselle. Rakenteeseen saa värähtelystä lisää värähtelyenergiaa ja se alkaa värähdellä yhä voimakkaammin. Kyseistä ilmiötä, jossa värähtelijä luovuttaa toiselle energiaa tämän ominaistajuuksilla f_0 , sanotaan resonanssiksi (Lehto & Luoma 1994, 133–134). Vuolion (2010, 301) mukaan ilmiötä on todettu 1–2 kerroksisissa omakotitaloissa, jotka on rakennettu vaihtelevan kosteuden omaavien yli 10 m paksujen sedimenttikerrosten päälle. Yleistä on myös maanvaraisten betonilaattojen aiheuttamat resonanssitilanteet, joita on käsitelty mm. VTT tiedotteessa 2425 (2008). Resonanssitarkastelussa käytetään resonanssikerointia perustuksen jokaiseen taajuuskaistan värähtelykomponenttiin.

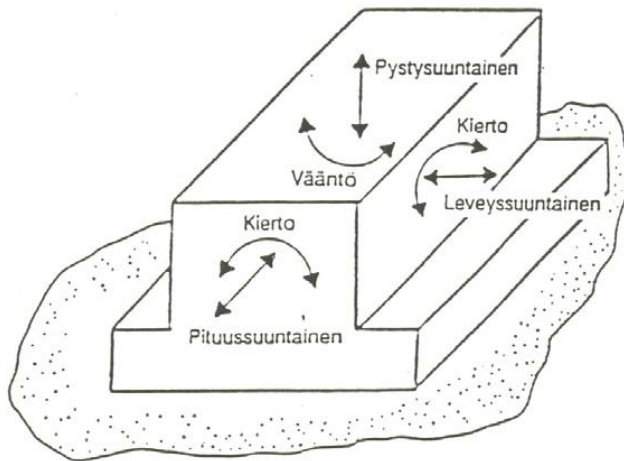
Resonanssia voi esiintyä silloin, kun maaperän värähtelyn hallitseva taajuuskomponentti osuu rakenteen ominaistajuuksien alueelle voimistaen kyseistä taajuuskomponenttia (VTT 2008). Sen ilmeneminen voi olla satunnaista, mutta ilmetessään hyvin merkityksellistä. Mittauksissa on havaittu värähtelyn voimistumista jopa noin kuusinkertaiseksi (TTY 2009, 24).

Louhintavärähtelyn aiheuttamassa värähtelyssä on periaatteessa yleensä riittävästi eri taajuuskomponentteja herättääkseen rakenteiden ominaisvärähtelyn. DI Juha Tuovisen (2012) mukaan se ei kuitenkaan ehdi aiheuttamaan varsinaista resonanssitilaa kuormituksen lähialueella, koska värähtely on lyhytkestoista ja taajuudet ovat yleensä korkeita. Myös Saksan normi DIN 4150 katsoo asian näin (4.3). Värähtely syntyy sarjasta räjähdyksiä, joiden värähtelyhuiput poikkeavat toisistaan. Tällöin ei synny siniaaltoista värähtelyä, joka voisi sekunneissa aiheuttaa resonanssia rakenteelle ja jolla ei ole yhtä selvää resonanssitaajuutta (Tuovinen 2012). Resonanssia voi silti esiintyä kevyissä rakenteissa kuten esimerkiksi herkissä laitteissa.

Mikäli värähtely aiheuttaa resonanssia, rakenteet jäävät värähtelemään ominaistajuuksillaan ja niiden voimakkuuden kehittyminen riippuu iskun suuruudesta, rakenteen jäykkyydestä ja massoista sekä materiaalivaimennuksista. Värähtely rakenteessa voi olla amplitudiltaan suurempaa kuin iskun aiheuttama värähtely maassa jos rakenteen jäykkyys on pieni. (TTY 2009, 25.)

2.7.2 Rakenteiden värähtelyjen ominaismuodot

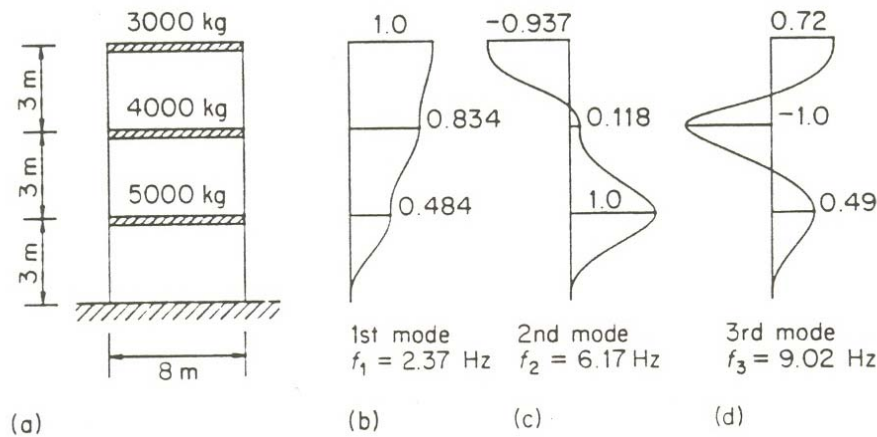
Pistemäisen kappaleen värähtely on jäykän kappaleen värähtelyä. Kappaleella on siten kolme siirtymä- ja kolme kiertymämahdollisuutta (kuva 9). Jokaisella näistä vapausasteista on omat ominaistajuutensa ja niitä käsitellään samaan tapaan. Kiertoliikkeissä voimatasapainoyhtälön (6) massan korvaa massahitausmomentti ja jousivoiman kiertojouset. (TTY 2009, 8–9.)



KUVA 9. Jäykän kappaleen värähtelymuodot (TTY 2009, 8).

Palkki tai laatta voi olla käytännön rakenteissa yhden vapausasteen värähtelijä, jonka kimmoisuus – taipuma - voidaan mallintaa jousena. Se voi olla myös perustus, jossa maa voidaan kuvata kimmoiseksi jouseksi. Rakenteen omapaino ja myös muuttuva kuorma voi olla massana. (TTY 2009, 9.)

Jatkuvilla rakenteilla on ääretön määrä ominaistajuuksia ja niitä vastaavia värähtelyn ominaismuotoja. Dynaamisen kuormituksen paikka ja suunta vaikuttavat rakenteiden eri ominaistajuuksien ja -muotojen värähtelyihin. Kuvassa 10 nämä on esitetty kolmikieroksisen, vaakasuunnassa kuvatun rakenteen, kolmen vapausasteen värähtelijänä. Värähtely edellyttää sitä, että kuormituksen suunta vastaa ominaismuotoa. Esimerkiksi kuvan 10 rakenteen ominaismuotoja vastaava pakkovärähtely edellyttää vaakasuuntaista kuormitusta. (TTY 2009, 9.)



KUVA 10. Kolmikerroksisen rakenteen ominaistajuuudet ja värähtelymuodot. (Smith 1988, TTY 2009, 9 mukaan).

3 MAAPERÄN DYNAMIIKKA

3.1 Geologiset tekijät maantärinöissä

Erilaisilla maa- ja kallioperäolosuhteilla eli tektoniikalla on vaikutuksensa tärinöiden leviämiseen ja luonteeseen. Tästä johtuen aaltojen etenemisen nopeuden tarkka ennustaminen on käytännössä erittäin haastavaa. (Larson 1988, 211.)

Tärinäaallot käyttäytyvät ja vaimentuvat eri tavoin väliaineesta riippuen, joten niille on määriteltävä tärinänjohtavuutta kuvaavia ohjeellisia lukuarvoja. Näitä arvoja käytetään yleensä suunnitteluvaiheen laskelmissa. Hurmalaisen (2001, 12) mukaan käytännön mittaustilanteessa väliaineen tärinänjohtavuuskerrointa ei tunneta tarkasti ja sen selvittäminen tulisi tehdä jo louhintatyön suunnitteluvaiheessa tai viimeistään työn alkuvaiheessa koeräjäytyksin ja tärinämittauksin. Näistä saatuja ensimmäisiä mittaustuloksia käytetään lähtöarvojen tarkistukseen tai korjaukseen.

Tärinän ominaisuuksiin vaikuttavat seuraavat maaperän ominaisuudet (Larson 1988, 211):

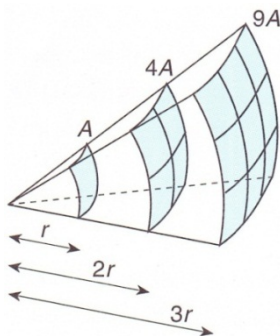
- Dynaamiset olosuhteet ovat tärkein tekijä aaltoliikkeen etenemisnopeuden kannalta.

- Tyyppi, syvyys ja kosteus vaikuttavat eniten taajuuteen ja aaltotyyppeihin.
- Väliaineen lopullinen tai paikallinen vaihtuminen aaltojen kulkureitillä vaikuttaa tärinän suuruuteen.
- Kiinteys, lämpötila sekä maaperän vaimennusominaisuudet ovat myös tärkeitä tekijöitä.

3.2 Tärinäaaltojen vaimeneminen

3.2.1 Geometrinen vaimeneminen

Tärinäaaltojen vaimeneminen maaperässä muodostuu pääosin geometrisen ja materiaa-
livaimennuksen yhteisvaikutuksesta, joista geometrisen vaimenemisen vaikutus on suu-
rempi. Geometrisessa vaimenemisessa etääntyvän aaltoliikkeen energia jakautuu laajen-
tuvalle pinta-alalle (Amick & Gendreau 2000, 2). Homogeenisessa väliaineessa aalto-
liikkeen kohtaama pinta-ala kasvaa kuvan 11 mukaisesti suoraan verrannollisena aalto-
lähteestä mitatun etäisyyden r neliöön (Lehto & Luoma 1994, 145).



KUVA 11. Aaltoliikkeen kohtaaman pinta-alan kasvaminen (Lehto & Luoma 1994, 145).

Geometrisen laajenemisen nopeus riippuu aallon tyypistä ja etääntyvän pinta-alan muo-
dosta. Runkoaallot leviävät puolipallon muodossa, jolloin niiden geometrinen vaimen-
tuminen on suurempi kuin väliaineen pinnassa etenevillä aalloilla. (Richart ym. 1970,
92; Amick & Gendreau 2000, 2) Tunnelilouhinnassa geometrisen vaimenemisen kerroin
on 1. Avolouhinnassa pinta-aaltojen kerroin on 0,5 ja runkoaalloilla se on 2.

3.2.2 Materiaalivaimeneminen

Materiaalivaimenemiseksi kutsutaan ilmiötä, missä aaltojen energia kuluu rakeiden väliseen kitkaan ja koheesioon aiheuttaen värinän amplitudin pienenemistä. Vaimennuksen määrä on riippuvainen värinän amplitudista ja muodonmuutostasosta. Yleensä lähialueen ulkopuolella muodonmuutostaso on alhainen ja samalla vaimentava vaikutus pieni. (Amick & Gendreau 2000, 2; TTY 2009, 17.)

Esimerkiksi savella on yleensä suurempi vaimentava vaikutus kuin hiekalla (Wiss 1967, Amick & Gendreau 2000, 2 mukaan). Märkä hiekka vaimentaa värinää vähemmän kuin kuiva hiekka, koska huokosvesi johtaa suuren osan puristavasta energiasta eikä rakeiden välille näin ollen muodostu värinää vaimentavaa suurta kitkaa (Amick & Gendreau 2000, 2). Rayleigh aaltojen etenemiseen ei maan kosteudella ole merkitystä (Richart ym. 1969). Jäätäneen maaperän vaimentava vaikutus on pienempi kuin sulan maaperän (Barkan 1962, Amick & Gendreau 2000, 2 mukaan). Roudan vaikutuksesta heilahdusnopeuden arvot voivat nousta 1,2–1,5 kertaisiksi (Vuolio 2010, 326). Värinän vaimeneminen on voimakkaampaa silloin, kun aalto etenee kohtisuorasti kalliosta esiintyvää rakoilua vastaan kuin silloin, kun se etenee samansuuntaisesti suuntautuneisuuden kanssa (Hurmala 2001, 12). Yleisesti ottaen tiiviissä tai kovassa maassa on suuren aallonnopeuden vuoksi pieni vaimennuskerroin.

Räjäytyksen aiheuttamien aaltojen korkeat taajuuskomponentit vaimenevat nopeimmin, koska niissä syklien määrä on suuri ja energia muuttuu nopeasti lämmöksi. (Larson 1988, 201.) Sanotaan, että väliaine absorboi aaltoja (Lehto & Luoma 1994, 146). Räjäytyksen aiheuttamat vallitsevat taajuudet ovat näin ollen korkeita lähietäisyydellä ja matalia etäällä (Larson 1988, 201).

3.2.3 Kokonaisvaimeneminen

Värinää vaimentaa etäisyyden kasvaessa myös aaltojen dispersio. Energia hajoaa laajemmalle alueelle etenemisen suunnassa, kun eri taajuussisältöiset aallot etenevät eri nopeuksilla. Kauempana tämä pidentää iskumaisen kuormituksen kestoa jolloin värähtelyjen voimistumisen luonne lähestyy jatkuvaa iskumaista kuormitusta. (TTY 2009, 18, 25.)

Geometrisen- ja materiaalivaimennuksen yhteisvaikutusta voidaan lähestyä kolmella eri tavalla. Yksi tapa on huomioida vain geometrinen vaimeneminen. Kirjallisuudessa on esitetty useita kertoimen lukuarvoja, mitkä vaihtelevat tyypillisesti pehmeän saven ja siltin arvon 0,8 sekä kiinteän maaperän ja kallion arvon 1,7 välillä. Toinen tapa olettaa pinta-aaltojen etenevän aina samalla tavalla. Lähestymistapa olettaa myös vaimenemisnopeuden etäisyyden suhteen olevan riippumaton aallon taajuudesta. Tällöin materiaalivaimennukselle valitaan kerroin maaperän tyyppin mukaan. Materiaalivaimenemisen kertoimet vaihtelevat eri tutkijoiden mukaan välillä 0,13–0,03. (Amick & Gendreau 2000, 3).

Kolmas tapa on lähestyä kokonaisvaimenemista Dowdingin (1996) esittämän pseudo-vaimenemiskäsitteen kautta, joka ottaa huomioon geometrisen- ja materiaalivaimennuksen sekä dispersion. Vaimenemisen arviointitapa perustuu laskentakaavaan ja vastaaviin kenttämittaustuloksiin. (TTY 2009, 20.) Pseudovaimeneminen on usein riittävä menetelmä tärinän vaimenemisen arvioimiseen, kun tärinälähteen vaikutusalue on alle 100 metriä. Yli 200 metrin etäisyyksillä se ei ole riittävä kuvaamaan materiaalivaimenemista. Pelkkä geometrisen vaimenemisen huomioiminen sopii mitattuihin tärinäarvoihin vain lyhyillä etäisyyksillä.

3.3 Räjähälytyksen aiheuttaman tärinän arviointi

Tärinäaaltoliikkeen energian heijastumista sen siirtyessä kalliosta saveen voidaan arvioida ruotsalaisen Rune Gustafssonin (1981, 219–220) mukaan Fresnelin kaavan (9) avulla.

$$E_{\text{ref}} = \frac{c_2 - c_1}{c_2 + c_1} \quad (9)$$

Esimerkiksi aallon energian siirtymisen määrä kalliosta, jossa $c_1 = 5000$ m/s, saveen jossa etenemisnopeus $c_2 = 1000$ m/s on kaavan (9) mukaan 44 %.

Esimerkin mukaan tärinäaallon energiasta siirtyy aineiden välillä noin puolet. Gustafssonin (1981, 220) esittämää vaimennuskertoimen arvoa voidaan pitää varovaisena verrattuna Raimo Vuolion tärinämittauskohteista saatuihin tuloksiin. Vuolion (2010, 301)

mukaan tärinä vaimenee alle 10–15 m lähietäisyyksillä, jo pienillä alle 1,0–2,0 kg momentaanisilla panoksilla räjäyttäessä kallion ja saven rajapinnassa miltei kokonaan.

Tilanne muuttuu monimutkaisemmaksi etäisyyden kasvaessa ja momentaanisen räjähdysainemäärän suuretessa. Tärinäaaltojen etenemismekanismeista johtuen voi yhden mittapisteen tärinämittaustuloksissa esiintyä hajontaa momentaanisen panoksen ja etäisyyden säilyessä muuttumattomana (Vuolio 2010, 301). Etenevän energian käyttäytyminen väliaineissa ja sen arviointi perustuu miljooniin mittauksista saatuihin tuloksiin, joiden perusteella esimerkiksi raja-arvot ovat saaneet nykyiset muotonsa (Gustafsson 1981, 219–222).

Panostuksen eri tekijöiden välisen yhteyden määrittämiseksi on kehitetty useita kaavoja. Useimmat tutkijat ovat päätyneet kaavaan (10) mukaiseen lausekkeeseen (Hurmalainen 2001, 13).

$$v = k \left(\frac{Q^m}{R^n} \right) \quad (10)$$

v = tärinän heilahdusnopeus

k = kallion tärinäjohtavuusluku

Q = yhdessä porausreiässä räjähtävän panoksen suuruus

R = etäisyys

Suomessa sovelletussa käytännössä ovat perustana Langeforsin ja Kihlströmin (1978) pienimmän neliösumman keinolla laskemat $m:n$ ja $n:n$ arvot, $m = 1/2$ ja $n = 3/4$, jolloin:

$$v = k \sqrt{\frac{Q}{R^{1,5}}} \quad (11)$$

Yhtälö (11) on osoittautunut hyvin paikkansapitäviksi suhteellisen suurilla heilahdusnopeuden arvoilla ($v > 10\text{mm/s}$) ja suhteellisen pienillä etäisyyksillä ($R < 50\text{ m}$) (Hurmalainen 2001, 13). Vuolio (2010, 326) esittää riippuvuuden pätevän aina 100 m etäisyyksille asti.

Tärinäjohtavuusluku k riippuu kallion rakenteesta ja laadusta. Mitä rikkonaisempi kallio on, sitä pienempi arvo on. Tärinäjohtavuusluvun maksimiarvo on $k = 400$ ja se esiintyy

yleisesti ottaen lähietäisyyksillä vähärakoisessa kovassa kalliossa. Lukuarvo k pienenee etäisyyden funktiona kalliossa esiintyvien rakenteellisten häiriötekijöiden vuoksi. Langeforsin ja Kihlströmin (1978) julkaisemassa taulukossa lähdetään siitä, että k :n arvo on vakio $k = 400$ etäisyydestä riippumatta, joka tarkoittaa lähes sataprosenttista varmuutta pyrittäessä välttämään tärinänylityksiä. Sweden Nitro Consultin laatimassa taulukossa puolestaan on listattu kokemusperäisiä etäisyyssidonnaisia k :n maksimiarvoja, joiden mukaan Q :n arvot on laskettu. (Hurmala 2001, 13–14, 16.)

4 TÄRINÄN OHJEARVOJA

4.1 Rakennusinsinööriliiton suositukset

Suomessa louhintatärinäkäytäntö noudattaa ruotsalaista käytäntöä pienin täydennyksin ja muutoksin. Sosiaali- ja terveysministeriön turvallisuusohjeiden käyttö lopetettiin vuoden 2011 aikana, jonka jälkeen tärinävaikutusten arviointiin on käytetty yleensä Rakennusinsinööriliiton RIL-253 suosituksia. RIL myöntää tärinäasiantuntijalle A- ja AA-pätevyydet kokemuksen perusteella, joista jälkimmäinen vaaditaan vaativimpiin tärinävaikutus tarkkailuihin ja suurempien raja-arvojen asettamiseen.

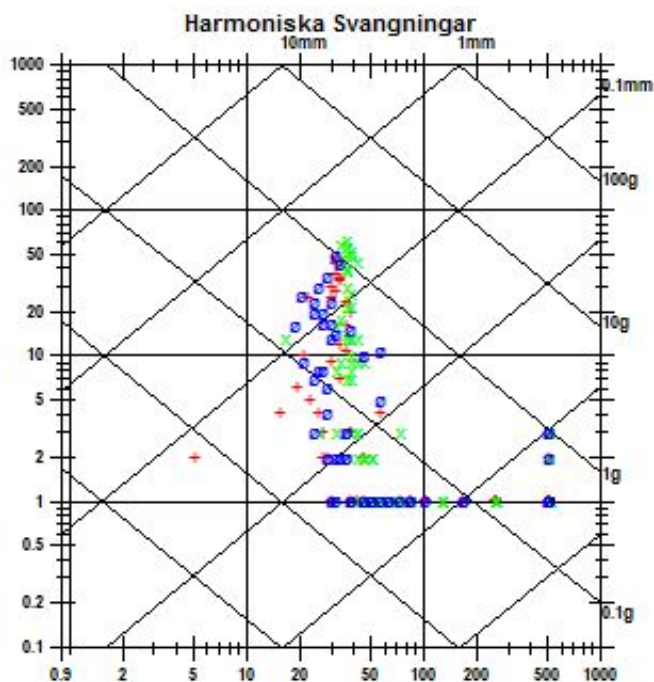
Heilahdusnopeuden raja-arvot on annettu rakenteen perustamistavan mukaan ja ne pienenevät etäisyyden kasvaessa. Valtaosa tärinämittareista antaa vauriovaara arvon heilahdusnopeuden jaksoluvun funktiona. Tämä ottaa taajuuden huomioon, koska etäisyyden kasvaessa myös tärinän taajuus alenee, jolloin heilahdusnopeuden ollessa sama, amplitudi kasvaa.

Käytäntö on mahdollistanut rakennetulla alueella suoritettavan louhinnan käytännössä ilman vaurioita, mutta sitä tulisi kuitenkin kehittää alan tietämyksen lisääntymisen ja mittaustulosten kehittymisen myötä. TTY:n projektin (2009, 54) mukaan käytännön kokemusten perusteella riittäisi useimmiten Langeforsin 1950-luvun käsitys vain pystykomponentin mittaamisesta alle 70 metrin etäisyyksillä. Toisaalta Vuolio ohjeistaa räjäytyskohteen sijaitessa lähellä, noin 20–30 metrin, sekä suunnilleen suojeltavan rakennuksen perustamistasossa, seinästä mitattavaksi aina myös vaakakomponentteja jotka voivat olla 2–3 kertaa pystykomponentin suuruisia. Yli 70 metrin etäisyyksillä tärinä

nän luonteessa tapahtuu muutoksia. Huippuarvojen taajuuden pienenemisen lisäksi vaakakomponenttien arvot voivat olla pystykomponentteja suurempia. (Vuolio 20120, 308.) RIL-253 ohjeistaa käyttämään poikkeuksetta kolmikomponenttimittauksia louhintatärinöitä mitattaessa.

4.2 Ruotsalainen standardi

Standardin SS 460 4866 mukaista menettelyä on käytetty yhtenä perustana suomen ohjearvoja laatiessa. Sen mukaan rakenteiden tärinäkestävyyden mittana on heilahdusnopeuden pystykomponentin huippuarvo. Standardin raja-arvoissa otetaan huomioon rakennuksen tärinäkestävyys ja rakennusmateriaali sekä räjäytyksen etäisyys. Rakennukset jaetaan viiteen ja rakennusmateriaalit neljään tärinäkestävyysluokkaan. Sallitun raja-arvon määrittäminen perustuu vaurioutilastoihin, jotka on saatu erilaisissa ruotsalaisissa maaperäolosuhteissa räjäyttäessä (Vuolio 2010, 306). Menettelyn mukainen tärinän arviointi on esitetty kuvassa 12. Ruotsalaisten tekemissä tärinämittaustuloksissa esiintyy lieviä poikkeamia suomalaisten tekemiin verrattuna, koska ruotsissa mittaukset tehdään pääsääntöisesti rakennusten ulkopuolelta ja suomessa puolestaan yleensä sisäpuolelta.



KUVA 12. SS 460 4866 mukainen tärinätarkastelu.

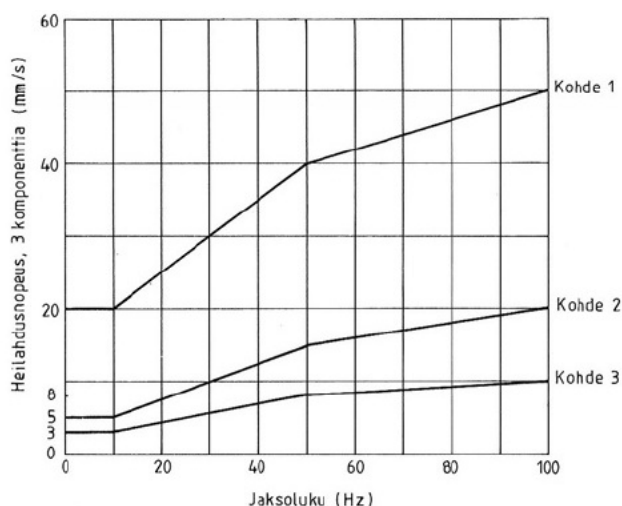
4.3 Saksalainen normi

Saksalainen DIN 4150 normi ottaa värinän taajuuden vaikutuksen huomioon taulukon 2 ja kuvan 13 mukaisesti. Käytännössä taajuuden huomioon ottaminen ei ole aina yksiselitteistä, koska taajuusalue on usein laaja (TTY 2009, 50). Taajuusalue rajoittuu yläpäästään 100 Hz, jonka jälkeen sovelletaan 100 Hz raja-arvoja. Standardin kriteerinä on värinän suurimman komponentin huippuarvo. Rakennusmateriaaleja tai – tapaa normi ei huomioi tarkasti. Amick ja Gendreau (2000, 4) mainitsevat DIN normin olevan konservatiivinen muihin standardeihin verrattuna, kun tarkastellaan hyväkuntoisia rakenteita, mutta tarkoituksenmukainen esimerkiksi historiallisissa kohteissa.

TAULUKKO 2. DIN 4150 normin sallitut arvot.

Kohde	Rakennustapa	Sallittu heilahdusnopeuden arvo (suurin komponentti) v_r , mm/s			
		Perusta			Ylin kerros
		< 10 Hz	Jaksoluku 10–50 Hz		Kaikki jaksoluvut
		< 10 Hz	10–50 Hz	50–100*) Hz	
1	Teollisuusrakennuksen ja niitä rakenteellisesti vastaavat rakennukset.	20	20–40	40–50	40
2	Asuinrakennukset ja niitä rakenteellisesti tai käyttötarkoituksellisesti vastaavat rakennukset.	5	5–15	15–20	15
3	Rakennukset, jotka eivät värinäkestävyydeltään vastaa kohteiden 1 ja 2 rakennuksia. Suojeltavat rakennukset.	3	3–8	8–10	8

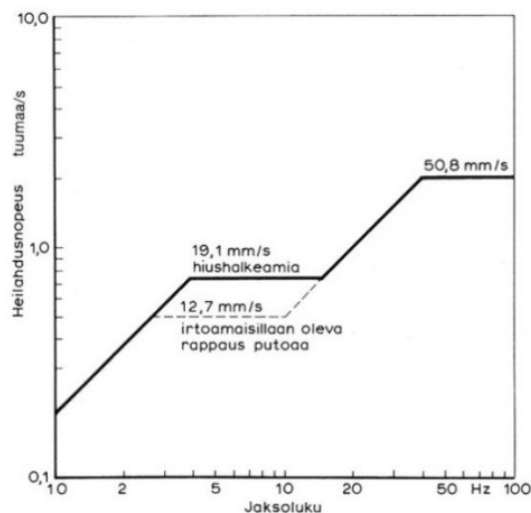
*) Yli 100 Hz jaksoluvulla sovelletaan 100 Hz raja-arvoja.



KUVA 13. Saksalainen DIN 4150 –normi ohjearvo käyrät.

4.4 Amerikkalainen standardi

Yhdysvaltalaisessa USBM standardissa heilahdusnopeus ja poikkeama ilmoitetaan jaksoluvun funktiona. Kuvassa 14 on esitetty US Bureau of Mines tärinäraja-arvosuositus RI 8507, joka pohjautuu Siskind ym. (1980) tekemään tutkimukseen. Standardin mukaan tulee mitata kolmea komponenttia, joista suurin on määräävä. Matalat, alle 40 Hz taajuudet, ovat korkeita vaarallisempia, mikäli kriteerinä pidetään heilahdusnopeuden arvoa. Yli 40 Hz taajuusalueella kaikille rakennuksille sopiva raja-arvo on noin 50 mm/s. Kuvan mukaista ohjearvoa noudatettaessa tulee tärinämittarilla mitata aikahistoria käyrä, josta katsotaan vaarallisin heilahdus. Heilahduksen maksimiarvo ei aina ole vaarallisin, vaan taajuudeltaan matalan tärinäaallon kohta saattaa olla rakenteelle vaarallisempi. Standardin mukaiset arvot ovat yleisesti varovaisia ja matalat jaksoluvut vaarallisimpia.



KUVA 14. Yhdysvaltalaiset raja-arvot räjäytystöille.

5 HERKÄT LAITTEET

5.1 Taustaa

Nykyaikaisen huipputekniikan luomien laitteiden käyttö voi häiriintyä värähtelyistä, vaikka itse laitteen kestävyys olisikin riittävä. Tärinä voi häiritä paitsi tietotekniikan, myös nano- ja sairasteknologian laitteita sekä laboratorioiden havainto- ja mittausvälineitä, kuten esimerkiksi elektronimikroskooppeja, lasereita ja röntgenlaitteita. (RIL 253-

2010, 111.) Sallitun tärinän ohjearvot laitteille ovat lähes aina valmistajien ilmoittamia ja ne ovat erittäin alhaisia, vain noin 1/10–1/20 osa niistä arvoista, mitkä ympäröiville rakennuksille asetetaan (P. Sainio 1988, 10). Tämä johtuu siitä, että herkkien laitteiden tärinänkestävyydestä ei ole voitu tehdä rakennusten tapaan tilastolliseen havaintomateriaaliin perustuvaa tutkimusta. Sallitut tärinätasot voivat olla jopa niin alhaisia, että niitä on mahdotonta saavuttaa jo tavanomaisissa käyttöolosuhteissa, ellei rakenteita ole suunniteltu tätä silmälläpitäen. (Vuolio 2010, 312.)

Arvot ovat yleensä erittäin alhaisia rikkoutumisen riskin minimoimiseksi, sekä nopeasti kehittyvästä tekniikasta johtuen, vaurioitumistilastojen puutteellisuuden vuoksi (P. Sainio 1988, 10). Laittevalmistajat eivät ole yleensä tutkineet laitteen tärinäsietoa lyhytkestoista tärinää silmälläpitäen, vaan laitteen kuljetusta ja normaalia käyttöä varten. Näin ollen laitevalmistajien antamat raja-arvot vastaavat lähinnä standardien pitkäkestoisen tärinän raja-arvoja. Kuljetuksen raja-arvo vastaa paremmin lyhytkestoista louhintatärinää, mutta tällöin laite on yleensä valmisteltu kuljetusta varten tai on ainakin sammutettuna. Oikea louhintatärinän raja-arvo laitteelle tulisi siis määrittää normaalin pitkäkestoisen tärinän ja kuljetuksen raja-arvon välimaastoon. (Tuovinen 2010.) Arvot perustuvat myös teollisuudessa käytettävien tietokoneiden arvoihin, joka tarkoittaa huomattavasti alhaisempia taajuuden arvoja ja suurempia siirtymän heilahdusamplitudin arvoja kuin räjäytystöiden lähietäisyyksillä ($R < 70$ m) on mitattu. Teollisessa laitoksessa tärinä on myös luonteeltaan jatkuvaa eikä hetkellistä niin kuin räjäytyksessä (Vuolio 2010, 312).

Kaikki louhintatyötä rajoittavat, rakennuksia ja rakenteita herkemmat kohteet, kuten erilaiset taide- ja museoesineet luetaan myös herkiksi laitteiksi tai kohteiksi. Esimerkiksi patsaat ja arvokkaat taulut ovat useasti hyvin herkkiä tärinälle. Kyseiset kohteet on kuitenkin usein mahdollista sijoittaa uudelleen louhintatyön ajaksi.

5.2 Vaikutukset louhintatyöhön

Herkiksi laitteiksi luokitellaan tietokoneet, palvelimet ja nauha-asemat, joissa on valmistajien mukaan hyvin tärinäherkkiä osia. Nämä laitteet rajoittavat ja vaikeuttavat louhintatöitä ja voivat jopa estää sellaisia rakennushankkeita, joihin liittyy louhintaa. Seikat, jotka aiheuttavat usein vaikeita ongelmia rakentamiselle, ovat Vuolion (2010, 312)

mukaan riski häiriöstä tai keskeytyksestä tietokoneiden toiminnassa, jota koneiden valmistajat eivät takaa mikäli niihin kohdistuu värinää tai iskuja. Vaateet laitteisiin kohdistuvan värinän lähes nollatoleranssista voivat aiheuttaa räjäytystyön merkittävän hinnan nousun sekä hidastaa tai jopa pysäyttää rakennushankkeen. Tietokoneille asetettuja raja-arvoja perustellaan mekaanisten osien koestuksen sekä yksiköiden värinänkestävyyskoekenttien puutteilla. Joitakin elektroniikka osia tietokoneissa kuitenkin koestetaan ja näiden koestusten ja teoreettisten laskelmien tulokset ovat värinäraja-arvojen perustana.

Tutkimuksissa on todettu, että paras vaurioitumiskriteeri värinäherkille laitteille on värinän kiihtyvyys (a), joka normaalisti ilmoitetaan g -arvoina (P. Sainio 1988, 11). Vuolion mukaan normaali elektroniikkalaitte kestää rikkoutumatta useita tunteja jatkuvaa 2 g :n sinimuotoista värinää ja toimii häiriintymättä 0,5 g :n kiihtyvyydellä. Suurimman riskin laitteen vaurioitumiselle aiheuttaa yleensä 60–300 Hz:n taajuuDET. (Vuolio 2010, 312).

Herkkiin laitteisiin kohdistuvaa värinää tarkasteltaessa huomioidaan seuraavat kolme muuttujaa:

- taajuus (Hz tai 1/s)
- siirtymän heilahdusamplitudi (1 mm = 1000 μ)
- kiihtyvyys maan vetovoiman kiihtyvyytenä (g) ilmaistuna

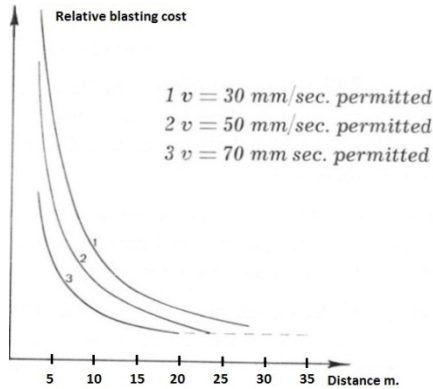
Esimerkki värinäherkän laitteen vaikutuksesta louhintatyöhön (Vuolio 2010, 312):

Räjäytys tapahtuu 10 m päässä tietokoneesta, jolloin todennäköinen taajuuden (f) arvo on 100–200 Hz. Sallitun kiihtyvyyden arvon ollessa yleisesti käytetty $a = 0,25 g$, saadaan kaavasta (2) laskien sallituksi arvoksi $v = 1,5–3$ mm/s. Räjäytysteknillisesti tämä merkitsee sitä, että momentaanisesti räjäytettävä räjähdysainemäärä, joka voisi olla rakenteen kannalta esimerkiksi 1,0 kg ($v = 70$ mm/s), pienenee arvoon 0,04–0,08 kg. Louhinta tämän suuruisilla panoksilla on käytännössä mahdotonta.

5.3 Taloudelliset vaikutukset

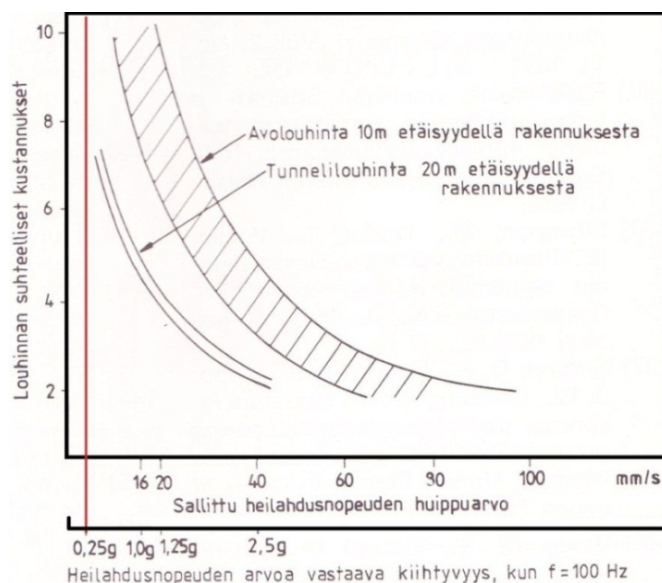
Varovaisen räjäyttämisen teknillistaloudellinen toteuttaminen on aina haastavampaa kuin perinteisen rajoittamattoman räjäyttämisen. Kustannukset kasvavat lähes kaikissa tällaiseen louhintaan liittyvissä työvaiheissa, mutta sillä voi olla myös suotuisia vaikutuksia kuten vähäisempi kallion rakoilu ja ylikkoutuminen. Kustannusten nousu on

aina tapauskohtaista ja niiden ennakoiminen on haasteellista. Gustafsson (1981, 260) esittää kuvassa 15 varovaisen räjäyttämisen suhteellisen suhteen kustannuksiin, kun käytetään pienen halkaisijan porareikiä ja kohtuullisen matalia pengerkorkeuksia.



KUVA 15. Etäisyysidonnainen louhinnan suhteellinen kustannusten nousu (Gustafsson 1981, 261).

Vuolio (1991, 211) esittää avo- ja tunnelilouhinnan suhteellisten kustannusten nousun rajoittavassa ympäristössä kuvassa 16. Kuvasta nähdään myös heilahdusnopeuden huippuarvon suhde kiihtyvyyteen, kun louhintatärinän taajuus on 100 Hz, sekä yleisesti tietotekniikalle asetettu raja-arvo. Kustannukset voivat olla jopa kymmenenkertaiset, ympäristössä, jossa on tärinälle herkkiä eristämättömiä laitteita.



KUVA 16. Louhintaa rajoittavien raja-arvojen vaikutus suhteellisiin kustannuksiin (Vuolio 1990, 211).

Louhintatyön kustannukset nousevat entisestään mikäli jälkikäteen havaitaan työtä rajoittavia herkkiä laitteita tai huomataan, että tärinät ovat ennakoarvioista poiketen vielä kaukana tärinälähteestä suuruudeltaan raja-arvot ylittäviä (Gustafsson 1981, 261). Syitä tärinälle asetettujen raja-arvojen ylityksiin ovat esimerkiksi vanhojen rakennusten rakennepiirustusten puutteellisuus, jolloin perustamistapa joudutaan arvioimaan. Myös maaperän ja siinä etenevän tärinäaallon virheellisestä arvioinnista johtuen raja-arvot voivat ylittyä vielä pitkälläkin etäisyyksillä. Gustafssonin (1981, 261) laatiman käytännön kokemuksiin perustuvan taulukon mukaan, kustannukset nousevat tällaisissa tapauksissa sallitun heilahdusnopeuden ollessa 70 mm/s kaksinkertaisiksi ja jopa nelinkertaiseksi sallitun ollessa 35 mm/s. Räjähdeiden ja työn hinnan muutoksista huolimatta arvoja voi käyttää viitteellisinä.

Suomalaiset normit katselmuksilla ja tärinämittauksilla ovat mahdollistaneet taloudellisen louhinnan käytännössä ilman vaurioita. Taloudellista vahinkoa ja vaateita voi kuitenkin syntyä, vaikka todellista vauriota ei olisi tapahtunutkaan. Tällöin vain asianmukaiset ohjearvot ja säädökset tarjoavat perustan ratkaisuille. Laitteet ja komponenttien hinnat ovat nykyään matalia suhteessa niiden sisältämän tiedon arvoon. Suurimmat riskit vauriotilanteessa ovatkin tiedon häviäminen ja laitteen, esimerkiksi pankin järjestelmän, käyttökatkosta aiheutuvat kustannukset.

5.4 Herkkien laitteiden tärinäsiedon ohjearvot

5.4.1 Ongelmat

Laitteiden valmistajat antavat yleensä laitteilleen tärinän ohjearvot. Usein ne ovat erittäin tiukat ja monesti myös keskenään ristiriitaisia. Eräät tietokonevalmistajat ilmoittavat vielä yleisiä ohjearvoja pienempiä raja-arvoja. Ääritapauksessa laitteen valmistajan tai käyttäjän asettama tärinän ohjearvo voi olla niin alhainen, että tavanomaisilla mittareilla ei pystytä tarvittavalla tarkkuudella niitä mittaamaan (TTY 2009, 58). Monesti näissä tilanteissa arkipäivän toimet, kuten kävely laitteiden läheisyydessä, voivat aikaansaada herkille laitteille suurempaa tärinää kuin mitä ohjearvot ovat (RIL 253-2010, 111). Riskianalyyssissä osoitettujen tietokoneiden ja muiden herkkien laitteiden suoja-

miseksi noudatetaan riskianalyyssissä määrättyjä tai laitteiden omistajien kanssa sovittavia tärinäarvoja (InfraRYL 17610.6.5).

Raja-arvoja ei ole usein perusteltu ja niissä on ristiriitaisuuksia. Esimerkiksi ilmoitetaan kiihtyvyyden raja-arvo, mutta ei tarkasteltavaa taajuusaluetta. Hurmalaisen (2001, 26) mukaan herkkiin laitteisiin kohdistuvaa tärinää tarkasteltaessa on aina selvitettävä myös tärinän spektri eli taajuussisältö sekä kesto-aika. Tärinätason arvosteleminen pelkän kiihtyvyyden tai nopeuden avulla ei riitä.

Muilla herkille kohteille asetetut ohje-arvot voivat vaihdella erittäin paljon. Luonnollisesti esimerkiksi museoesineille asetettuja raja-arvoja on hyvin vaikea arvioida tai perustella, joten ne asetetaan riittävän alhaisiksi riskin minimoimiseksi. P. Sainion (1988, 21) kokemuksen mukaan tilaan, jossa taide-esineet ovat vaimennettu, raja-arvona voidaan pitää 10 mm/s ja vaimentamattomassa tilassa 3 mm/s.

Valmistajien kyky määrittää käyttökelpoisia ja realistisia värähtelyn raja-arvoja vaihtelee hyvinkin paljon ja melko usein laitteille ei ole asetettu mitään numeerisia vaatimuksia, ainoastaan varoitetaan liiallisesta tärinästä. Tällöin ongelma jää yleensä laitteen käyttäjän vastuulle. (TTY 2009, 61.) Myös työtilanteissa on käynyt ilmi, että valmistajan ilmoittama tärinän raja-arvo käytännössä estää laitteen normaalin käytön ja tilassa liikkumisen. Raja-arvot ylittyvät jo normaalissa käytössä, mutta vastuuongelmia saattaa syntyä silloin kun lähistöllä on louhintatyömaa, vaikka siitä aiheutuva tärinä olisi huomattavasti laitteen normaalikäytöstä aiheutuvaa pienempää.

Kovalevyt, jotka sisältävät mekaanisia osia, ovat alttiimpia rikkoutumiselle silloin kun ne ovat niin sanotussa lukutilassa (liite 1; www.computerteam.fi). Raimo Vuolio toteaa (2010, 313): ”Eräiltä tahoilta saatujen tietojen mukaan on uusien koneiden tärinänkestävyys alhaisempi kuin ennen käytössä olleiden koneiden.” Toisaalta yksi IT-alan standardeja luovista yrityksistä ilmoittaa heidän valmistamansa mekaanisen kovalevyn iskunkestävyyden maksimiarvoksi lukutilassa 30 g / 2 ms (liite 1). Kannettavat tietokoneet, pöytätietokoneet sekä palvelinyksiköt ja –kaapit pitää myös ajatella erilaisina laitteina, joilla on eri kestävyysominaisuudet. Hurmalaisen (2001, 22) mukaan tietokonekorjaajan arvio levymuistiyksikön kiihtyvyyden kestoksi, ilman kirjallista määritystä, oli 75 g. Levytallentimet, jotka eivät sisällä mekaanisia liikkuvia osia ovat hiljalleen yleistyneissä, mutta ovat niin yksityis- kuin yrityskäytössäkin edelleen harvinaisia.

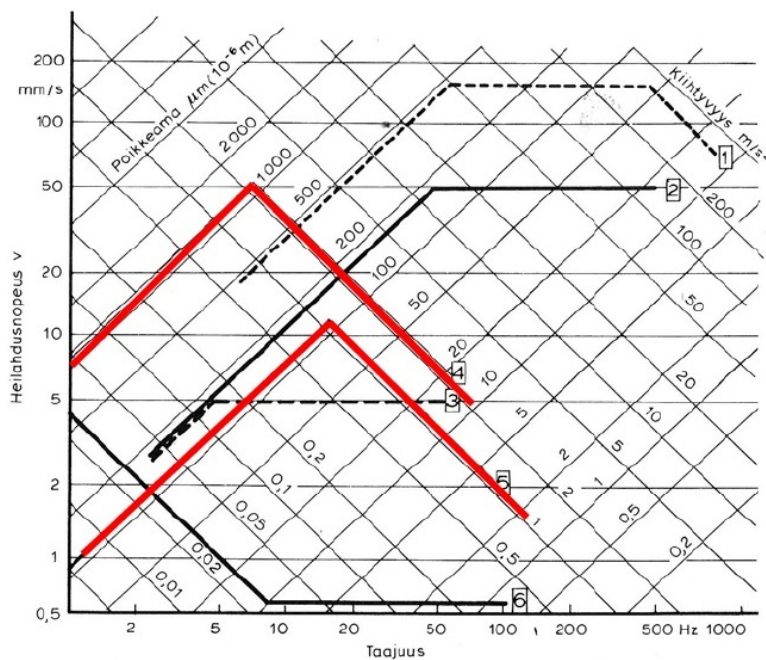
5.4.2 IBM ohjearvot

Taulukossa 3 on listattu IBM:n (1982) ilmoittamat suurimmat sallitut värinäarvot tietokoneille, perustuen kuvassa 18 esitettyyn käyrästäön.

TAULUKKO 3. Suurimmat sallitut värinäarvot tietokoneille (IBM, 1982).

Tärinän laatu	Taajuus (Hz)	Heilahdusamplitudi	Kiihtyvyys g_{sall} (m/s^2)
jatkuva	< 14	$2A < 0,25mm$	-
jatkuva	$14 \leq$	-	0,1 (1,0)
hetkellinen	< 7	$2A < 2,5mm$	-
hetkellinen	$7 \leq$	-	0,25 (2,5)

Asutuskeskuslouhintojen mitatut värinäarvot ovat lähes poikkeuksetta taajuusalueella $f > 7$ Hz ja värinän luonne on hetkellistä, joten taulukon 3 mukaan saadaan sallituksi maksimi kiihtyvyyden arvoksi 0,25. P. Sainion (1988, 12) mukaan pohjoismaissa on todettu käytännössä ja tutkimuksissa tietokoneiden kestävän huomattavasti suurempia värinöitä kuin mitä kuvassa 17 esitetään. Louhintatöistä tietotekniikalle aiheutuvan riskien arviointiin on käytetty yleisesti IBM:n asettamia värinän raja-arvoja.



KUVA 17. Ruotsalaisten esittämässä normiehdotuksessa esitetyt raja-arvot (1982).

Kuvan 17 käyrässä 2 osoitetaan ylin suositeltu raja räjäytyksissä. Käyrä 4 on ylin raja IBM:n tietokoneille tärinänkeston ollessa alle 5 sekuntia ja tärinänkeston ollessa yli 5 sekuntia, katsotaan ylin raja käyrältä 5. Etäisyyden kasvaessa sallittu heilahdusnopeus pienenee ja korkeat jaksoluvut suodattuvat pois. Matalat, varsinkin alle 20 Hz, jaksoluvut ovat vaarallisia laitteille.

Tietokonealan kehitys tapahtuu kiihtyvällä nopeudella ja uusia teknisiä ratkaisuja eri toimintojen toteuttamiseksi syntyy päivittäin, jonka seurauksena vaurioitumistilastoja ei juuri ehdi syntymään. Vanhana tekniikkana pidetään jatkuvasti vähemmän ikääntyneitä komponentteja, joten niiden uusimisen sykli on nopea. Laitteiden käyttöiät vaihtelevat erittäin paljon eikä vanha tekniikka poistu käytöstä tasaisesti, joten toiminnassa on edelleen hyvinkin vanhoja osia. IBM:n (1982) ilmoittama raja-arvo lyhytaikaiselle iskulle perustuu laitevalmistajien haluun selkeyttää vastuunkantaja rikkoutumistilanteessa. Herkkien laitteiden ominaisuudet ja rakenteet vaihtelevat myös valmistajakohtaisesti paljon, joten selkeä rajaus on oikeudellisesti toimiva. Vanhan komponentin käyttöiän ummetessa louhintatyön aikana on se oletusarvoisesti rikkoutunut louhintatärinän seurauksena.

5.4.3 VC-käyrät

Vibration Criteria – käyrät on laadittu pääsääntöisesti jatkuvalla tärinällä. Erityisesti tärinäherkät laitokset luonnehditaan useasti näihin käyriin perustuen, jotka kehittivät Ungar ja Gordon (1985). Erityistä mittatarkkuutta vaativille laitteille on myös usein ilmoitettu tärinäsiedon raja-arvo näitä käyriä käyttäen. VC-käyrät on esitetty heilahdusnopeuden tehollisarvoina V_{rms} taajuudeltaan 1/3 oktaavikaistoin. (Amick & Gendreau 2000, 6). Käyrien ohjearvot on koottu taulukkoon 4.

TAULUKKO 4. Terssikaistoittain esitetyt, VC-käyriin perustuvat ohjearvot (Amick & Gendreau 2000, 6).

Kriteeri	V_{rms} mm/s (1–100 Hz)	Tärinän herkkyys
VC-A, VC-B	0,050–0,025	Tavanomainen laboratorio
VC-C, VC-D	0,013–0,006	Tärinäherkkä ympäristö
VC-E	0,003	Puolijohdin- ja tutkimuslaitokset

Kun tärinä on ajoittaista, tehollisarvo määritetään yleensä käytännössä ”slow” alkupainotuksella. Tärinän taajuussisällöstä ja luonteesta riippuen heilahdusnopeuden huippuarvo on 1,5–5 kertaa suurempaa kuin VC-käyrien 1/3 oktaavitaajuuskaistoittain esitetty tehollisarvo. Ero on pienimmällään, kun tärinällä on selvä hallitseva siniheräte eli yksittäinen taajuus (liikennetärinä). Suurimmillaan se on satunnaisheräätteessä eli tärinän sisältäessä useita taajuuskomponentteja (louhintaräjäytys). (RIL 253-2010, 111–112.) Rakentamisesta aiheutuvan tärinän taajuussisältö on aina erilaista työmaasta ja tärinälähteestä eli rakennusvälineestä riippuen.

5.4.4 ISO/TS

Tehollisarvon ja resultantin huippuarvon vertailua varten on julkaistu ISO/TS 10811 (2000). Standardissa esitetyn vastespektrin perusteella voidaan tehdä tehollisarvon ja huippuarvon keskinäinen vertailu (RIL 253-2010, 112). Monet laitetoimittajat ilmoittavat standardin mukaiset raja-arvot näihin, taulukossa 5 esitettyihin, arvoihin viitaten, jota voidaan pitää hyvänä tapana, mikäli vaatimukset on perusteltavissa (TTY 2009, 61, 64).

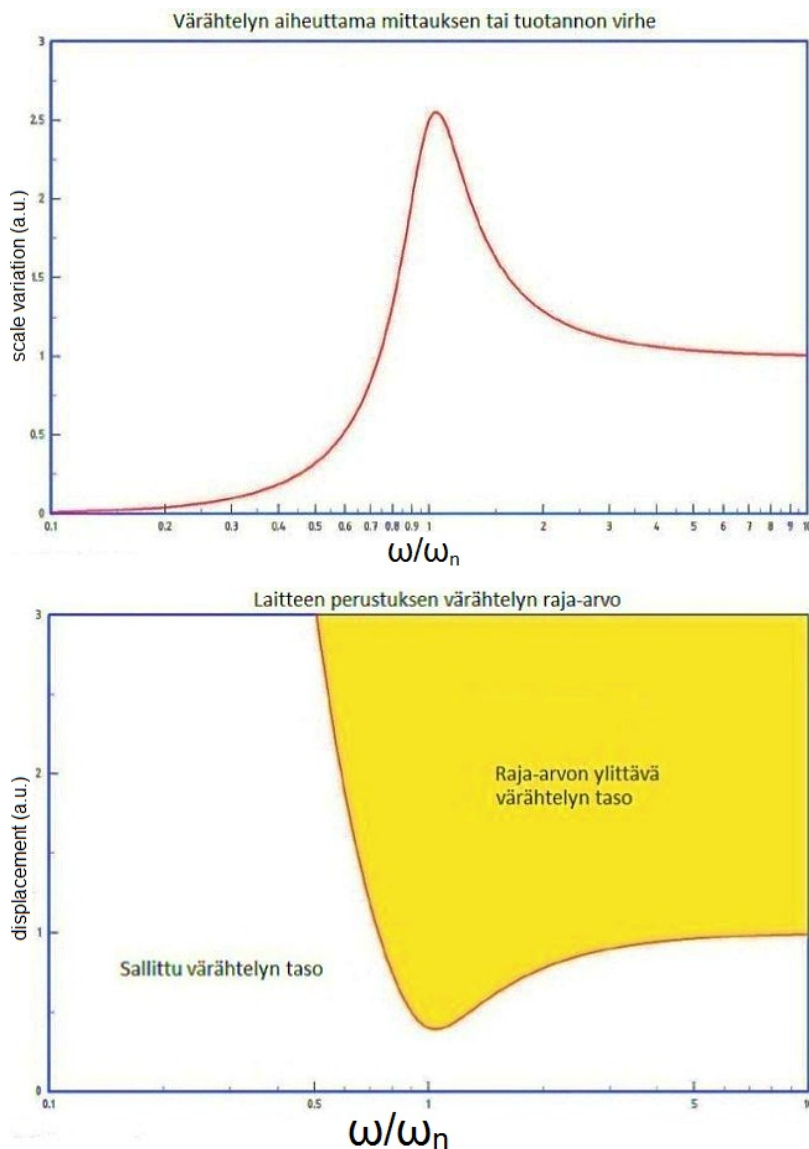
TAULUKKO 5. VC-käyrien ja ISO 10811 standardin vertailu (ISO/TS 10811, 2000).

VC - käyrä	Heilahdusnopeuden tehollisarvo (mm/s)	Heilahdusnopeuden huippuarvo jatkuvalla siniheräätteelle (mm/s)	Heilahdusnopeuden huippuarvo satunnaisheräätteelle (10 min) mm/s	
			8 Hz	100 Hz
A	0,050	0,071	0,22	0,25
B	0,025	0,035	0,11	0,12
C	0,013	0,018	0,056	0,062
D	0,006	0,0085	0,027	0,030
E	0,003	0,0042	0,013	0,015

5.4.5 Mittauksen tai tuotannon asettama raja-arvo

Laitteen kestävyysvaatimusten lisäksi mittauksen tai tuotannon sallittu virhe on usein sallitun värähtelykriteerin perusta. Kuva 18 havainnollistaa miten sallittuun värähtelyyn vaikuttavat olennaisesti laitteen sisäiset resonanssimahdollisuudet ja myös värähtelyn taajuus. Tärinän ohjearvot ilmoitetaan yleensä laitteen ulkopuolisen alustan tai raken-

teen värähtelynä. (RIL 253-2010, 111.) Kuvassa ω on värähtelyn taajuus ja ω_n laitteen ominaistaajuus.



KUVA 18. Resonanssin vaikutus laitteen sallittuun värähtelytasoon (TTY 2009, 60, muokattu).

Tampereen teknillisen yliopiston tekemän projektin (TTY, 2009) mukaan useiden herkien laitteiden mittaus- tai tuotantotarkkuus riippuu niiden kohinasta tai herkkyydestä kaavan (14) mukaisesti. Siinä näyttämän muutosta verrataan mittasuureen muutokseen. Yhtälöstä (15) käy ilmi mitä pienempi vaadittu herkkyys on, sitä pienemmillä värähtelytasolla on merkitystä kun tarkastellaan mittauksen tai tuotannon värähtelyn herkkyyttä. (TTY 2009, 59.)

$$e = \text{output} / \text{input} \quad (14)$$

$$e_v = \text{output} / u \quad (15)$$

e = laitteen herkkyys

output = näyttämän muutos

input = mittasuureen muutos

e_v = mittauksen tai tuotannon värähtelyn herkkyys

u = värähtelyn suuruus eli amplitudi (mm)

Mittausvirheeseen tai tuotantotarkkuuteen tärinä vaikuttaa yhtälön (16) mukaisesti (TTY 2009, 59).

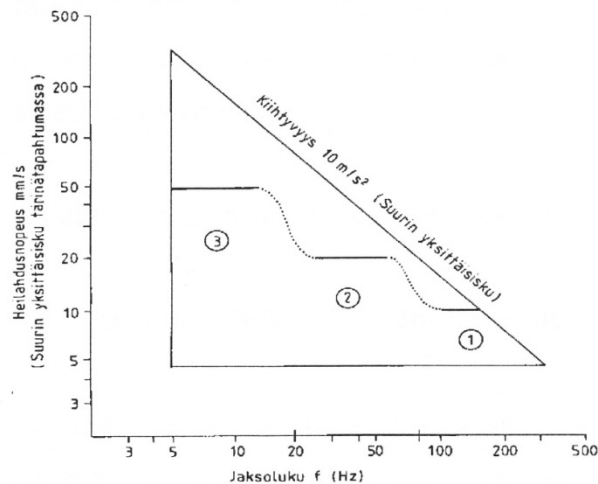
$$s_v = ue_v \quad (16)$$

s_v = sallittu mittausvirhe tai tuotantotarkkuus

Sallitun värähtelykriteerin perusta on siten sallittu virhe. Sallittuun värähtelyyn vaikuttaa olennaisesti laitteen sisäiset resonanssimahdollisuudet ja myös värähtelyn taajuus kuvan 18 mukaisesti. Tärinän raja-arvot ilmoitetaan yleensä laitteen ulkopuolisen alustan tai laiterakenteen värähtelynä. (TTY 2009, 59.)

5.4.6 Raja-arvojen kehitysehdotuksia

Norges Geotekniska Institutit esitti raja-arvon nostamista arvoon $a = 1,0$ g. Perusteena oli käytännön kokemusten lisäksi se, että räjäytystärinä on käsitettävä lyhytaikaiseksi iskuksi, ei jatkuvaksi siniheilahdukseksi. Norjalainen NG1 (1990) ehdotus on esitetty kuvassa 19. Ehdotuksessa raja-arvot tietokoneille on ilmoitettu myös etäisyyden ja sijaintikerrosten perusteella heilahdusnopeuden arvoina. Arvot suurenevät etäisyyden ja kerroskorkeuden suurenessa, koska korkeataajuinen tärinä yleensä vähenee etäisyyden kasvaessa ja tärinän siirtyessä maasta tai kalliosta perustuksiin ja rakennuksessa ylöspäin (Vuolio 2010, 313). Tärinän suuruutta laiteympäristöissä voivat kuitenkin lisätä rakenteiden resonanssitilanteet, koska laitteet ovat usein välipohjien päällä (TTY 2009, 71).



Etäisyys räjäytyspaikalta rakennukseen m	Kerros, jossa tietokone on	Raja-arvo mm/s	Raja-arvoalue
0–10	alle 3–4	10	1
0–10	yli 3–4	20	2
10–100	alle 3–4	20	2
10–100	yli 3–4	50	3
yli 100	kaikki kerrokset	50	3

KUVA 19. Norjalainen NG1 (1990) ehdotus tärinän raja-arvoksi tietokoneen levymuistiyksikölle.

Vuolio (2008, 10) on ehdottanut TKK:lla järjestetyssä workshopissa esimerkiksi kaikkien yli 100 Hz jaksolukujen suodatusta pois herkkien laitteiden, erityisesti muuntajien, tärinätarkkailusta. Ehdotus perustuu tärinäaallon amplitudin pienenemiseen taajuuden kasvaessa. Esimerkiksi louhintätärinän taajuus lähialueella on yleensä yli 100 Hz. Etäisyyden kasvaessa ja taajuuksien laskiessa maanjäristystaajuuksille 1–33 Hz tapahtuu amplitudin kasvu yleisen kaavan (4) mukaisesti. Kun raja-arvo $a = 0,25 \text{ g}$ eli noin $2,5 \text{ m/s}^2$, saadaan todellisen liikkeen arvoksi kyseisillä matalilla taajuuksilla $62,5\text{--}0,06 \text{ mm}$. Louhintätärinän aiheuttama amplitudi samalla kiihtyvyyden raja-arvolla, kun $f = 100 \text{ Hz}$ on $0,006 \text{ mm}$.

Suodatuksella saaduille arvoille ei ole olemassa standardia, jolloin ongelmaksi muodostuu olemassa olevien herkille laitteille asetettujen ohjearvojen käyttö. Nykyiset raja-arvot perustuvat mitattuihin tuloksiin tietyissä olosuhteissa, joten esimerkiksi avo- ja tunnelilouhinnassa pitäisi käyttää eri lukuarvoja niiden tuottaman tärinäsisällön poikkeudessa toisistaan. Suodatetut arvot eivät ole raja-arvoja, vaan niitä voidaan käyttää vain apuna tärinätulosten tulkinnassa.

Herkkien laitteiden tärinän ja iskunkestävyydelle on luotu myös uusi ohjearvo (IBM 2011). Taulukossa 6 on ohjearvon mukainen laitteiden luokittelu ja taulukossa 7 on esitetty ohjearvot näille laiteluokille. Uuden ohjearvon mukaisia raja-arvoja ei ole käytetty Suomessa louhintätärinän aiheuttaman riskin arviointiin. Arvo g_{rms} on ilmoitettu kiihtyvyyden tehollisarvona 5–500 Hz taajuuksille. Jokaisen taajuuden tärinähuipun tulee olla alle puolet näistä ilmoitetuista keskiarvoista.

TAULUKKO 6. Ohjearvon mukainen laitteiden luokittelu (IBM 2011).

Luokka	Laiteympäristö
V1	Lattialle asennetut laitteet toimistoympäristössä
V2	Kalusteiden päälle tai seinälle asennetut laitteet
V3	Raskaat teolliset sekä mobiilit -laitteet

TAULUKKO 7. Herkkien laitteiden tärinän ja iskun kestävyiden ohjearvot (IBM 2011).

Luokka	g_{rms}	g huippuarvo	Amplitudi 5–17 Hz	Isku / 3 ms
V1 < 600kg	0,10	0,30	0,086 mm	3 g
V1 > 600kg	0,05	0,15	0,043 mm	3 g
V2	0,10	0,30	0,086 mm	3 g
V3	0,27	0,80	0,238 mm	laitekohtainen

6 TÄRINÄN MITTAAMINEN

6.1 Tärinävaikutusten arviointi

Suomen rakentamismääräyskokoelman (2010) mukaan on ennen rakentamista tarvittaessa selvítettävä rakenteisiin mahdollisesti kohdistuvat tärinävaikutukset. Ne eivät saa aiheuttaa vaurioita rakennukselle eivätkö kohtuutonta häiriötä rakennuksessa oleville ihmisille.

Tärinävaikutusten arviointi on yleensä osa hankkeen pohjarakenne- tai kallioteknistä suunnittelua ja sen sisältö riippuu hankkeesta. Louhintatyön aiheuttaman tärinän vaikutusten laajuutta voidaan arvioida hankkeen vaativuusluokituksella siten, että vaativimmissa hankkeissa tulee tarkastella tärinävaikutuksia kattavammin ja tarkemmin. Erityisen tärinäherkät kohteet on luokiteltu vaativimpaan luokkaan 3 (RIL 253-2010, 33). Tärinävaikutuksen arvioinnin laatijana on asiantuntija, jolla on vastaavan vaativuusluokan suunnittelijan tai tärinäasiantuntijan kelpoisuus. Arviointi tehdään yleensä työn tilaajan eli rakennuttajan toimeksiannosta, mutta se voi olla myös urakoitsijan toimenpide. Pienissä kohteissa sen voi tehdä louhintaurakoitsija katselmusten yhteydessä. (Vuolio 2010, 316–317.)

Tärinää aiheuttavaan työhön liittyy riskianalyysi tai ympäristöselvitys, joista ensiksi mainittu on huomattavasti laajempi. Ympäristöselvityksessä työkohteen ympärillä sijaitsevien mahdollisesti louhintatyötä rajoittavien kohteiden arvioinnin suorittaa louhintakonsultti. Herkille laitteille ja toiminnoille määritetään suojaus- ja varotoimenpiteet, joilla häiriöitä ja vaurioita pyritään tarkoituksenmukaisesti rajoittamaan. (Nevalainen, Honkanen, P. Sainio & Christersson 2010, 443–445.) Alalla pitkään toiminut Juha Sainio (2012) määrittelee viimeiseksi mainittujen toimenpiteiden suorittajaksi henkilön, jolla on optimaalinen kokemus ja koulutus alalle, mutta olennaisimpana tuntemus tietystä laitteesta tietyissä olosuhteissa.

Riskianalyysissä osoitetaan, missä laajuudessa ja miten tärinää mitataan ja kuka huolehtii mittauksista (InfraRYL 17610.5.5). Tärinäasiantuntija esittää rakennusten, laitteiden ja toimintojen asettamien rajoitusten mukaiset valvontajärjestelyt määrittämällä tärinämittauspisteiden paikat, sekä niissä seurattavat mittasuureet ja tulosten raportointijärjestelyt (Nevalainen ym. 2010, 445). Suomessa alalla toimii 4–5 yritystä, jotka tekevät työtä pääosin niin sanotun hiljaisen tiedon pohjalta. Vaikka työ perustuu pitkälti kokemukseen, on tekninen peruskoulutus erinomainen lähtökohta.

Nykyään tärinää mitataan yleensä kahdessa vaakasuunnassa sekä pystysuunnassa (Nevalainen ym. 2010, 445). Pienien tai lyhytkestoisten louhintatyömaiden tärinöitä mitataan usein edelleen vain pystysuunnassa. Tärinän vahinkovaaran mittasuureeksi rakenteille on sovittu heilahdusnopeus mm/s ja herkille laitteille kiihtyvyyys m/s^2 . Nevalainen ym. (2010, 445) mainitsee mittausten tapahtuvan kansainvälisten standardien, voimassa olevien ohjeiden, vallitsevan käytännön ja kulloistenkin vaatimusten mukaisella tavalla.

6.2 Mittauslaitteet

6.2.1 Yleinen mittauskalusto

Yleisimmät Suomessa käytettävissä olevat mittauslaitteet ovat Instantelin, Sigicomin ja Abemin valmistamia mittareita. Sigicomin suosio on kasvanut viime vuosina ja Abemin iäkkäämmän kaluston käytön määrä on laskenut. Tärinäasiantuntijat suosivat Sigicomin tärinämittareita louhintatyömaiden aiheuttamien tärinöiden seurantaan, koska ne ovat kaukokäyttöisiä ja kolmiakksiaalisia tärinämittareita. Lisäksi niistä on tulostettavissa aikahistoriakäyrällisiä tärinämittaustuloksia. Mittareiden toimivuus tulisi testata säännöllisin väliajoin ja niiden tulee täyttää voimassa olevat häiriö- ja muut tekniset vaatimukset (Nevalainen ym. 2010, 445).

6.2.2 Kaukokäyttöiset kolmiakksiaaliset tärinämittarit

Ruotsalaisvalmisteinen Sigicom Infra ja Kanadalainen Instantel MiniMate Plus ovat yleisimmät yhtaikaisesti kaikkia kolmea suuntakomponenttia mittaavat kaukokäyttöiset tärinämittarit. Molemmat tallentavat tärinän kaikkien suuntakomponenttien heilahdusnopeuden, taajuuden, kiihtyvyyden ja amplitudin aikahistoriakäyrän. Mittarit soveltuvat myös ilmanpaineen ja melun rekisteröimiseen, sekä useiden muiden ympäristömittauksien tekemiseen. Ne ovat verkkovirtakäyttöisiä, mutta olosuhteissa joissa kytkeminen sähköverkkoon ei ole mahdollista, hyvissä olosuhteissa jopa neljän kuukauden yhtäjaksoinen käyttö on saavutettavissa lisäakulla. Kaikki mittaustulokset tallentuvat reaaliajassa tietokantaan ja ne on myös mahdollista saada tekstiviestinä. Sigicom Infraa käytettäessä tulokset ovat lisäksi luettavissa Internet-pohjaisesta tärinämittaustulosten seuranta- ja raportointijärjestelmästä.

6.2.3 Paikalla luettavat tärinämittarit

Tärinämittari Abem UVS601 tallentaa tärinän pystykomponentin heilahdusnopeuden, kiihtyvyyden ja amplitudin huippuarvon. Se on yksikanavainen tärinämittari, jonka tallennuskapasiteetti on 32 vuorokautta. Viimeisin tärinätulos on luettavissa laitteen näy-

töltä räjäytystapahtuman jälkeen. Se soveltuu erinomaisesti pienille, esimerkiksi omakotitalo alueella tehtäville räjäytystöille, koska suomessa normit perustuvat pystykomponentin heilahdusnopeuden arvoihin. Tarpeen vaatiessa tästä lukuarvosta voidaan etäisyyden perusteella arvioida myös vaakakomponenttien lukuarvot.

Abem UVS1500 on 4-kanavainen aaltomuoto/taajuus- ja huippuarvomittari. Se tallentaa kaikkien kolmen komponentin kaikki suureet kuten Sigicom Infra ja Instantel MiniMate. Laite on paristokäyttöinen, mutta myös kytkettävissä verkkovirtaan. Anturin mittamat värinätulokset ovat luettavissa laitteen näytöltä. Kyseiset Abemin valmistamat mittarit ovat vanhasta iästään huolimatta toimivia oikeissa olosuhteissa.

6.3 Tulokset ja niiden valvonta

Kaukovalvontalaitteisto on toimiva ratkaisu nykytekniikan mahdollistamalla apuvälineillä, mikäli värinämittaustuloksia halutaan seurata reaaliajassa. Kyseisen tekniikan perusajatuksena on saada erilaisten työmaiden aiheuttamat värinätasot välittömästi väräytyksen jälkeen työmaan tai valvojan tietoisuuteen (Nevalainen ym. 2010, 447). Tällöin saatuja tuloksia voidaan käyttää seuraavan kentän suunnittelussa. Etuna tästä työmenetelmien optimoinnista työmaalle sopiviksi ovat kustannussäästöt ja lähiympäristön vahinkovaaran pieneneminen. Esimerkiksi ruotsalainen NCVIB on Internet-pohjainen seurantajärjestelmän, joka on suurimman suomalaisen louhintakonsulttiyrityksen Oy Finnrock Ab:n käytössä.

6.4 Herkkään laitteeseen kohdistuva värinä

Herkille laitteille asetetut yleiset raja-arvot on annettu laitteeseen kohdistuvalle värinälle. Kyseiselle määritelmälle ei ole olemassa yhtenäistä ohjetta miten sitä tulisi mitata. Värinä välittyy laitteeseen suoraan lattiasta tai välillisesti kalusteen kautta. Laitekokonaisuuksissa, kuten palvelinkaapeissa, värinä laitteisiin välittyy kaapin rakenteen kautta. Lattiarakenteita on useita erilaisia, joista korotettu lattia on laitetoissa yleisin. Mitattaessa värinää tällaisen rakenteen päältä, mittaustuloksissa voi esiintyä hyvinkin suuria vaihteluita riippuen värinäanturin asennuskohdasta. Mikäli laite on kalusteen päällä, laitteeseen kohdistuva värinä voidaan tulkita mitattavaksi kalusteesta. Tämäkään ratkai-

su ei anna vertailukelpoisia tuloksia, sillä joka rakenteella on tärinään vaikuttavat ominaisuutensa. Palvelinkaapeista tärinää mitataan yleensä jollakin seuraavista kolmesta tavasta: rungon alaosasta, kaapin päältä tai välittömästä läheisyydestä lattiasta. Kaikki kolme mittaustapaa vaikuttavat mittaustuloksiin ja tärinän luonteeseen. Tärinäasiantuntijan tulkinnanvaraiseksi jää millä edellä mainituista tavoista mitataan varsinaisesti laitteeseen kohdistuvaa tärinää.

Riskianalyysissä yleensä määritellään mistä tärinää tulee mitata. Yleinen määritelmä on laitteen välittömästä läheisyydestä lattialta. Tuovinen (2012) ei tulkitse laiterakenteesta mitattuja tuloksia laitteeseen kohdistuneiksi, koska tärinän luonteessa tapahtuu rakenteesta riippuen muutoksia. Hurmalaisen (2012) mukaan haluttaessa saada todellinen laitteeseen kohdistunut tärinä, pitää mitata itse laitteesta, koska jokaisessa rajapinnassa voi tapahtua vaimenemista tai resonointia. Korotetun lattian päältä ei tulisi mitata, koska se on kevyt rakenne. Tällöin pitäisi pyrkiä asentamaan mittari lattian alle tukipilareihin, josta tärinä todellisuudessa välittyy laitteeseen.

6.5 Vahingonkorvausvastuu

Louhintatöissä sovelletaan vahingonkorvauslakia 31.5.1974/412. Tärinämittausten ja tärinäneristykseen tarkkuus korostuu, koska louhinta- ja räjäytystyö on luokiteltu ankan vastuun alaiseksi toiminnaksi. Tämä tarkoittaa sitä, että louhintatyön suorittaja vastaa vahingoista tuottamuksesta riippumatta eikä voi vapautua vastuusta edes osoittamalla toimineensa huolellisesti kaikkien määräysten edellyttämällä tavalla. (KKO 1957, 1963.)

Yleisten sopimusehtojen mukaan vastuu suunnittelusta on tavallisesti rakennuttajalla. Myös urakoitsija voi sen halutessaan ottaa suoritukseensa, jolloin rakennuttajan ja urakoitsijan vastuuraja muuttuu. Tavallisesti urakassa urakoitsijan toteuttamisvaihe alkaa vasta hänelle annettujen suunnitelmien mukaisen työn käynnistyessä. Vastuu ympäristöstä ja louhinnasta on aina louhijalla, ja louhintaliike on ankan vastuun alaisuudessa. (Nevalainen ym. 2010, 449.) Mikäli vaateita korvauksista syntyy, tarkastellaan louhintaräjähdyksen ja vaurioituneen kohteen välistä syy-yhteyttä. Vaurioitumisen yhteydessä arvioidaan sitä todennäköisyyttä millä vaurion on aiheuttanut louhintatärinä (Hurmalainen 2012).

7 HERKÄN LAITTEEN TÄRINÄNERISTYS

7.1 Passiivieristys

Yleinen menettely louhintätärinän eristämiseksi on passiivieristys, joka tarkoittaa rakenteen eristämistä ympäristöstään. Tärinän vaikutuksia voidaan vähentää myös eristämällä tärinälähde, jota kutsutaan aktiivieristykseksi. Käytännössä eristyksessä vaikuttavat usein molemmat periaatteet (TTY 2009, 65). Louhintaräjäytyksen dynaamisen kuormituksen aiheuttaman tärinän onnistunut ja tehokas passiivieristys perustuu sen vastustamiseen massan hitaudella tai tärinäaaltojen etenemisen vähentämiseen ja katkaisemiseen.

Louhintätärinän leviäminen rakennuksen perustuksista lattiaan on eniten riippuvainen rakennuksen dynaamisista ominaisuuksista. Jos tulevassa tärinässä on taajuuksia, jotka ovat lähellä lattian resonanssitaajuutta, voi tapahtua heilahdusliikkeen voimistumista. Lattioiden eri resonanssitaajuusalueet riippuvat lattian mitoista ja rakenneominaisuuksista. (Vuolio 2010, 315.) Laitteet ovat yleensä joko suoraan tai välillisesti kalusteiden kautta välipohjien päällä, jolloin laitteiden tärinän hallitseminen vaikeutuu. Yleisesti voidaan todeta eristyksen toimivan sitä paremmin, mitä jäykempi sen alusta on. Joskus vaimennustyö saatetaan joutua uusimaan ensimmäisten mittaustulosten tarkastelun jälkeen resonanssi-ilmiön seurauksena.

Mikäli lattiasta tietokoneeseen välittyvä tärinä ylittää tietokoneille sallitut arvot, voidaan ne eristää lattiasta vaimentimien avulla. Tällaisen passiivieristyksen yksi yleisimmistä toteutustavoista on kumivaimentimien asentaminen laitteen ja alustan väliin. Resonanssitaajuudet ovat yleensä matalia ja Vuolion (2010, 315) mukaan tällaisissa tapauksissa ilmiön vähentäminen kumivaimentimilla ei ole mahdollista. Tutkimuksessa saatujen tuloksien perusteella kumivaimentimen tärinäeristystaso on matalilla taajuuksilla heikko, mutta rajoittaa kuitenkin herkässä laitteessa tapahtuvaa tärinäaallon voimistumista. Kumivaimentimille vaihtoehtoiseksi eristinmateriaaliksi ovat yleistymässä polyetheuretaanista valmistettavat vaimentimet niiden laajemman käyttötaajuusalueensa vuoksi.

7.2 Eristyksen lähtökohdat

Suomen lainsäädännön voidaan tulkita määräävän tekemään tarvittavat toimenpiteet vahinkojen estämiseksi, jotta vahinkoa ei luokiteltaisi tuottamukselliseksi. Suoraa määrystä esimerkiksi vaimennusmateriaalille ei ole. Infra RYL (2010) ohjeiden mukaan suojaustarpeet tulee osoittaa suunnitelma-asiakirjoissa. Suojattavien laitteiden eristystyö tulisi suorittaa omistajien kanssa sovittavalla sekä ympäristö- ja riskianalyyssissä (liite 2) osoitetulla tavalla.

DI Juha Tuovisen (2012) mukaan värinäeristysmateriaalina pitää käyttää vain tähän tarkoitettuja materiaaleja. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että materiaalista pitäisi olla saatavilla tarvittavat sertifikaatit sekä tiedot sen ominaisuuksista. Nevalainen ym. (2012, 448) myös kirjoittaa ohjeessaan värinää aiheuttavien rakennustyömaiden organisaatioille, että herkkien laitteiden vaimennusmateriaalina pitäisi käyttää parhaita saatavilla olevia materiaaleja, joiden teknisistä ominaisuuksista on kattavat fysikaaliset, kemialliset ja käyttöikää koskevat tiedot (Nevalainen ym. 2012, 448). Valitettavasti tämä ei toteudu kaikessa värinäeristyksessä, joka lisää vaurioitumisen riskiä.

Vaimennustoimenpiteet ja – materiaalit valitaan painoluokan mukaan, joten kustannukset jakautuvat painoluokittain. Luokat ovat alle 20 kg, 20–80 kg ja yli 80 kg painavat laitteet. (Nevalainen ym. 2010, 449; Finnrock 2012).

7.3 Värinäeristyksen suunnittelu

Nevalainen ym. (2010, 448) tiivistää värinäsuojaustoimenpiteiden ja vaimennussuunnittelun lähtöarvoiksi:

- suojattavien laitteiden ja toimintojen värinän raja-arvojen määrittäminen
- kohteen häiriöiden ja vallitsevan värähtely-ympäristön fysikaaliset ominaisuudet
- vaimenninmateriaalien fysikaaliset ominaisuudet
- laitteiden fyysisten mittasuhteiden, toimintaperiaatteiden ja vaatimusten tuntemista
- vaimennuksen suorittaminen värinälle, jonka taajuus $f > 40$ Hz.

Louhintätärinöiden vaimennuksen suunnittelu alkaa riskianalyysin valmistumisen jälkeen. Sen kuuluu selvittää, voidaanko kaikki tärinälle herkät laitteet eristää. Mikäli laite on vaimennettavissa, pitää sen ominaisuuksiin ja toimintaan tutustua suunnittelun alkuvaiheessa. Laitteen käyttäjä on yleensä paras asiantuntija ja tarvittaessa laitteen valmistaja antaa perehdytyksen sen toiminnoista.

Mikäli vaimentaminen ei ole mahdollista, pitää miettiä vaihtoehtoisia menetelmiä kuten laitteen alasajoja, aikaikkunoita tai aktiivieristystä. Yksi vaihtoehto on siirtää laite pois alueelta louhintatyön ajaksi. Alasajo tarkoittaa laitteen tai laitteiston sammutusta louhintatöiden ajaksi. J. Sainion (2012) mukaan menetelmä ei ole erityisen suosittu varsinkaan ikääntyneiden palvelinlaitteiden ollessa kyseessä. Aikaikkuna on laitteen käyttäjän ja louhintaurakoitsijan sopima vuorokauden kellonaika tietyllä toleranssilla, jolloin herkkä laite on sammutettuna tai ainakin pois käytöstä. Aktiivieristysten suoritustapoja on esimerkiksi maaperään tehtävä rakolinja louhinnan aiheuttamien tärinäaaltojen katkaisemiseksi.

Riskianalyysiin sisältyvä vaimennuksen suunnittelu alkaa vaimennuslaskelmalla, jossa kirjataan ylös kaikki herkät laitteet ja niiden tyypit. Seuraavassa suunnitteluvaiheessa tutkitaan jokaisen tärinäherkän laitteen jalat. Yleinen louhintatyötä rajoittava herkkä laite on palvelinkaappi (kuva 20), jonka jalat ovat pulttien päähän asennettuja, halkaisijaltaan vaihtelevan kokoisia tassuja. Kaapeissa voi olla kiinteiden jalkojen lisäksi siirtelyn mahdollistavat pyörät (kuva 21).



KUVA 20. Yleinen palvelinkaapin malli.

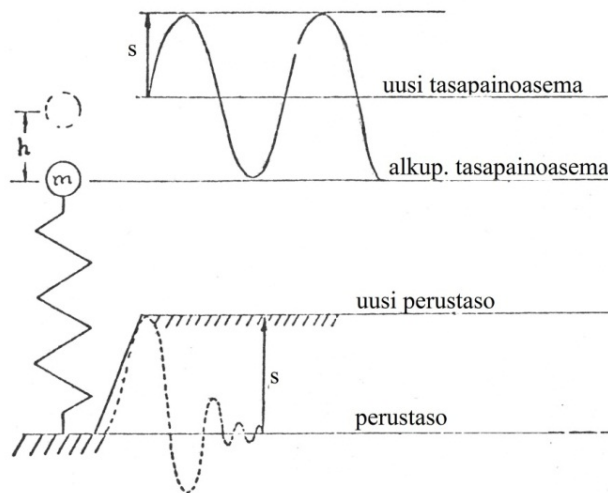


KUVA 21. Siirtojalkojen päällä oleva palvelinkaappi.

Yksi vaihtoehto on, että jalkoja ei ole ollenkaan. Lattian tyyppi ja muoto tulee tarkastaa, koska ne vaikuttavat olennaisesti tärinöiden luonteeseen. Pienet palvelimet tai laboratoriolaitteet voivat olla myös kalusteiden päällä. Seuraava vaihe on laitteeseen kiinnitettyjen kireiden johdotusten kartoitus. Ne rajoittavat itse vaimennustyötä huomattavasti ja saattavat jopa estää työhön liittyvän noston tai kallistelun. Kun kaikki edellä mainitut suunnittelun vaiheet on tehty, selvitetään laitteeseen tai tilaan liittyvät yhteyshenkilöt ja yksi henkilö, joka vastaa työstä molemmin puolin.

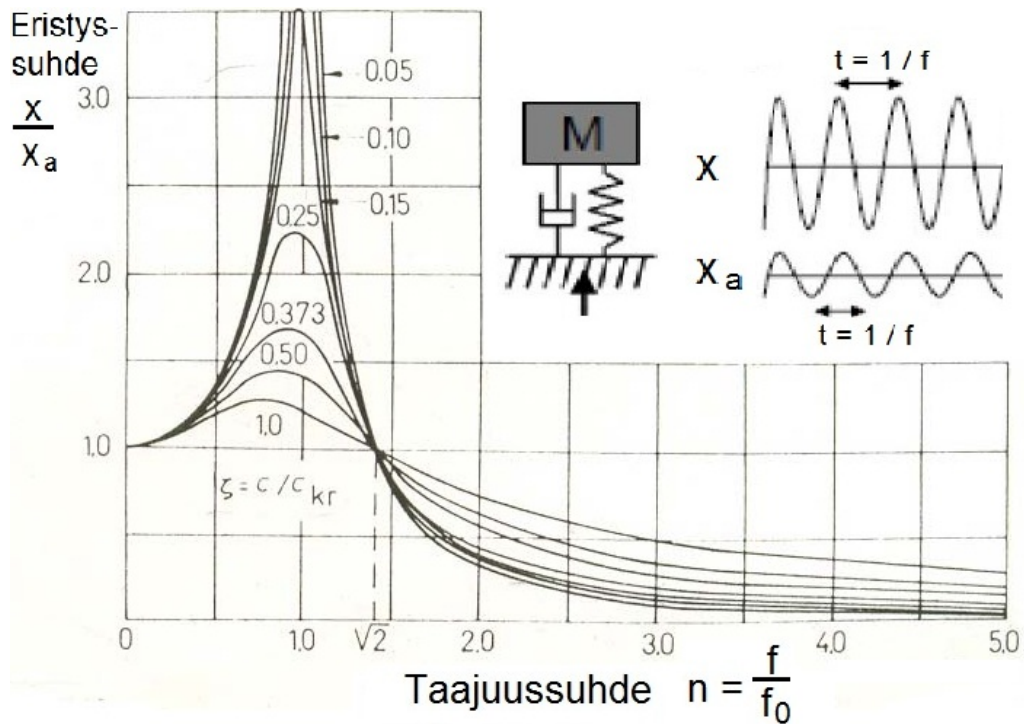
7.4 Eristeen toimintaperiaate

Vaimentimen toimintaperiaatetta voidaan parhaiten kuvata mekaanisella värähtelijällä, jonka muodostavat eristin ja sen varassa lepäävä massa. (P. Sainio 1988, 14). Periaatteenä on saada massan aiheuttama hitausvoima toimimaan vastakkaisessa vaiheessa tärinäkuormitukseen verrattuna (TTY 2009, 65). Tämä saavutetaan kuormituksen aiheuttamalla eristeen painumalla, joka määrää tietyllä eristeellä saavutettavan ominaistajuuden. Painuman kasvaessa systeemin ominaistajuus alenee (Vuolio 2010, 315). Kuvassa 22 on esitetty ulkopuolisen iskun vaikutus värähtelijään. Kuvassa oletetaan perustason siirtyvän matkan s ylöspäin tärinän voimasta. Massa alkaa värähdellä systeemin ominaistajuudella f_0 uuden tasapainoaseman molemmin puolin matkan s .



KUVA 22. Tärinäeristeen välityksellä massaan vaikuttavan ulkopuolisen iskun vaikutus värähtelijään (Savolainen 1958).

Painuman aikaansaamiseksi tilanne edellyttää riittävän raskasta rakennetta ja sen asentamista riittävän pehmeiden tärinäeristimien varaan. Tällä tarkoitetaan tilannetta, jossa vaimentimen ominaistajuus on alle puolet pienimmästä merkittävästä tärinäaallon taajuudesta (Vuolio 2010, 315). Suurimpiin tärinäeristyssuhteisiin pyrittäessä edellytetään taajuussuhteen olevan noin 4–5. Vuolio (2010, 315) kirjoittaa saavutettavien eristyssuhteiden olevan otollisimmissa olosuhteissa 70–90 %. Kuvassa 23 on esitetty harmonisen värähtelyn eristyssuhde taajuussuhteen funktiona.



KUVA 23. Harmonisen värähtelyn eristyssuhde taajuussuhteen funktiona (Savolainen 1958; Niskanen 1969).

Vaimennusjärjestelyn mitoitus on sitä vaativampi mitä useampia ja mitä matalampia häiriötaajuuksia kohteessa esiintyy (Vuolio 2010, 315). Tilanne on edellä mainitun kaltainen yleensä räjäytyksen ja kohteen välisen etäisyyden ollessa suuri, koska frekvenssi alenee voimakkaasti etäisyyden kasvaessa ja värähtälojen etenemiseen vaikuttavia tekijöitä on enemmän. Vuolion (2010, 315) mukaan mitoituksen vaativuus lisääntyy myös suojaavan laitteen massan ollessa epätasaisesti jakautunut tai jos painopiste sijaitsee selvästi tukipisteen tasoa ylempänä. Tilanne on käytännössä lähes poikkeuksetta kuvattun kaltainen.

7.5 Eristeen toimivuuteen vaikuttavat tekijät

Valittavissa olevien eristintyyppien mitoitus, yleiset ominaisuudet ja resonanssitaajuu- det ovat eri vaimentimien materiaaliominaisuuksia. Eristinmateriaalin jousto- ominaisuuteen perustuva värähtäeristys edellyttää alimman herätetaajuuden tuntemista. Laitteen paino aiheuttaa vaimentimissa tietyn painuman, joka puolestaan määrää vai- mennintyyppillä saavutettavan ominaistaajuuden, joten laitteen massa tulisi ainakin suur- piirteisesti tietää. Valitsemalla kuormitettavuudeltaan sopiva vaimennintyyppi saadaan

haluttu järjestelmän ominaistaajuus yhtälöstä (12). (Vuolio 2010, 315.) Kuvasta 23 nähdään resonanssialueen olevan kohdassa $n = 1$.

$$n = \frac{f}{f_0} \quad (12)$$

n = taajuussuhde

f = alin herätetaajuus

f_0 = järjestelmän ominaistaajuus

Liian jäykkä värinäeriste ei painu ja taajuussuhde jää pieneksi mikä lisää järjestelmän resonanssin riskiä. Vastaavasti liian pehmeä eriste johtaa nopeaan materiaalin deformaatioon ja lyhentää käyttöikää huomattavasti. Deformaatiolla tarkoitetaan materiaalin väsymistä ajan kuluessa, jolloin tapahtuu pysyviä muodonmuutoksia (Lee & Lubarda 1981). Materiaalista riippuen eristetyn laitteen vaurioitumisriski kasvaa molemmissa tapauksissa mikäli tilanteita ei tunnisteta. Jos eristemateriaalista on olemassa tarkkaan testatut ja kattavat ominaisuudet se voidaan valita tarkoituksella liian pehmeäksi. Tällöin arvioidaan deformaation nopeus ja hyödynnetään tilanteen aiheuttamat edut.

Tärinänvaimennuksessa tulee pyrkiä suureen taajuussuhteen arvoon. Siksi käytetään vaimenninmateriaalille suurinta painumaa ja sallittua kuormitusta. Mikäli värinän luonne ja käyttöpaikan olosuhteet vaativat, voidaan vaimennus perustaa yksinomaan vaimentimen värähtelyjä absorboiviin sisäisiin ominaisuuksiin. Myös näissä vaimennuksissa on ominaistaajuus säädettävä siten, ettei mikään värinälähteen aiheuttamista värähtelytaajuuksista satu järjestelmän resonanssitaajuusalueelle. Tämä alue esitetään vaimentimien ominaistaajuuskäyrissä. (Vuolio 2010, 315.)

Vaimennuksia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon räjäytyspaikan ja vaimennettavan kohteen etäisyys ja siitä riippuva vaimennussuhde. Etäisyyden kasvaessa vaimennussuhde pienenee riippuen käytetystä vaimennustavasta. Lähietäisyydellä suhde saattaa olla 30:1, kun 200 metrin päässä samoilla vaimentimilla se voi olla vain 3:1. Vaimennussuhteen pienetessä myös heilahdusnopeus ja kiihtyvyys laskevat, joten yleensä vältytään erikoistoimenpiteiltä, kuten erittäin matalien taajuuksien jousivaimennuksilta. Matalilla jaksoluvuilla amplitudi saattaa sitä vastoin jopa hiukan kasvaa. (P. Sainio 1988, 19.) Lyhyillä etäisyyksillä eristystarve on suurimpien kiihtyvyyden arvojen takia

suurin, joten etäisyyden kasvaessa saavutetaan kuitenkin yleensä riittävä eristys. Eristin estää myös laitteen omaa resonanssia.

Tärinäeristeen geometrialla on myös vaikutuksensa eristeen toimintaan ja se on hyvä ottaa huomioon eristystyötä suunniteltaessa. Pieni pyöreä eriste pullistuu reunoistaan paremmin kuin suorakulmainen kappale, joka tarkoittaa hieman parempaa eristystä (Sorbothane 2008).

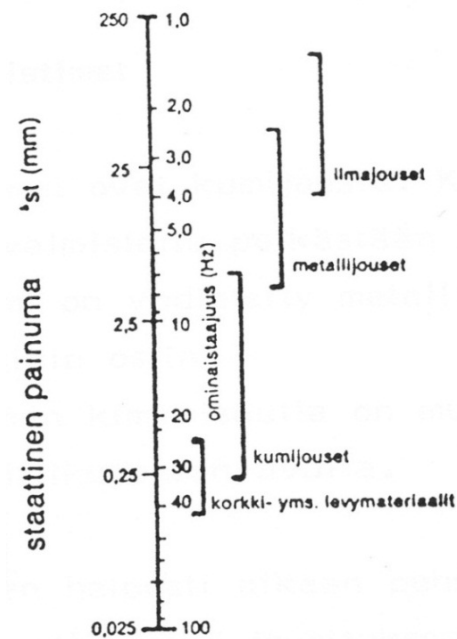
8 ERISTEMATERIAALIT

8.1 Yleisesti

Perinteisiä tärinävaimentimien ja -eristimien valmistusmateriaaleja ovat teräsjouset ja kumi. Muita harvemmin käytettyjä materiaaleja ovat korkki, huopa, mineraalivilla ja ilmajouset. Näillä vaimentimilla on eri käyttötaajuusalueet riippuen valmistustavasta ja – materiaalista kuvan 24 mukaisesti. Käyttötaajuusalueella tarkoitetaan sitä aluetta, jolla eristimien ominaistajuudet tyypillisesti ovat. (P. Sainio 1988, 17.)

Joissakin tapauksissa, kun laitteessa on osa, joka on herkkä korkeammille taajuuksille, (esim. tarkkuusosa, joka ei saa värähdellä edes millin sadasosaa) saattaa ohuen pahvin sijoittaminen koko laitekaapin alle tai yksiköiden väliin toimia tehokkaana korkeiden taajuuksien suodattimena (Vuolio 2010, 315).

Monet materiaalit eristävät tärinää, mutta se ei vielä tee siitä louhintatärinäeristintä. Tärinäeristysmateriaali tarkoittaa materiaalia, joka on testattu kyseiseen käyttöön ja siitä löytyy kattavat ominaisuudet, eli se on ”speksattu”. Tärinäeristysmateriaaleiksi tarkoitetut tuotteet on lähes aina sertifioitu, jonka perusteella käyttäjä voi olla varma sen toimivuudesta eristeenä. Olosuhteiden ja mittaustulosten perusteella voidaan eristyskykyä arvioida tarkkaankin sertifioinnin ja speksien avulla (Tuovinen 2012).



KUVA 24. Eri tärinäeristimillä saavutettavat ominaistaajuudet (P. Sainio 1988, 17).

Moderneja tärinäeristimiä valmistetaan solupolyetheuretaanista ja viskoelastisista polymeereistä, joilla on laaja käyttötaajuusalue ja riittävään eristykseen tarvittava eristeen määrä on pieni. Viskoelastisuus tarkoittaa, että materiaalilla on sekä nesteiden että kiinteiden materiaalien ominaisuudet (Ferry 1980, 2–3). Saatavilla on myös eristimiä, joissa on yhdistelty eri materiaaleja ja niiden hyviä ominaisuuksia.

Vaimennus valitaan aina tilanteen, kuten louhintatyön luonteen ja sen vaikutusten mukaan. Eristeen valinnan lähtökohtana ovat kohteessa vallitsevat olosuhteet, joiden perusteella tärinäasiantuntija suunnittelee mahdollisimman optimaalisen tärinäeristykseen. Täydelliseen vaimennukseen käytännön tilanteessa ei päästä juuri koskaan, vaikka siihen pyritäänkin, joten etukäteen on syytä selvittää minkä tasoinen vaimennus on tarkoitus saada aikaan. Sopivimman materiaalin valintaa helpottaa oleellisesti ennakkotietojen oikeellisuus sekä mahdollisista koeräjäytyksistä saadut tärinämittaustulokset.

Yksi tärinäeristeen valinnan peruste on louhintatyömaan ja vaimennuksen suunniteltu kesto. Deformaation nopeus on materiaalien ominaisuus ja myös hyödynnettävissä laitteiden eristyksessä. Nopeasti väsyvien materiaalien käyttöikä on lyhyt varsinkin jos kuorma on ylimitoitettu valitulle materiaalille. Tällaisella harkitusti suoritettulla ratkaisulla voidaan aikaansaada parempi eristystaso lyhyelle aikavälille. Lyhyenä aikavälinä voidaan pitää noin 2–3 kuukauden mittaista eristystä. Eristyksen suunnitteluvaiheessa

varaudutaan tällöin jo eristeiden pois purkuun tietyn ajan kuluttua. Laitteelle on myös mahdollista tehdä normaalista käytännöstä poikkeava sekavaimennus, jossa käytetään kahta tai useampaa eri eristemateriaalia yhdistäen niiden hyviä ominaisuuksia ja korva-ten puutteita.

Yleisiä huomioitavia seikkoja käytettäessä eri materiaaleja tärinäeristeenä:

- Materiaalin lisääminen ei aina tehosta tärinäeristystä
- eristeen geometria on olennainen osa vaimennustehoa
- eristeen läpi ei voida suoraan pultata kiinnityksiä, koska tärinä välittyy maasta laitteeseen niitä pitkin, epäsuora pultitus on kuitenkin mahdollista
- paksummilla kerroksilla pystytään eristämään matalampia taajuuksia
- matalilla eristeillä on lukuisia käytännön etuja, kuten:
 - o vähennetään laitteen kaatumis- ja vierimisriskiä
 - o ei häiritä laitteen tuuletusta
 - o kireisiin johdotuksiin kohdistuva rasitus on pienempi
 - o ne mahtuvat ahtaisiin tiloihin

8.2 Polyetheuretaanit

8.2.1 Ominaisuudet

Polyetheuretaanit ovat tärinäeristeenä suhteellisen uusi materiaali, joka suomessa on yhä enenevässä määrin eristystyön suorittajan valinta, kun tehdään herkän laitteen passiivieristys. Polyuretaanista valmistettujen tärinäeristimien etuja ovat laaja käyttötaajuus-alue ja toimivuus eristeenä pitkiäkin aikoja. Nämä seikat helpottavat tärinäeristystyön suunnittelua, toteutusta ja luotettavuutta. Polyuretaanit ovat materiaalina kumia ja muita polymeerejä neliöhinnaltaan arvokkaampia, mutta toisaalta tehokkaaseen tärinäeristykseen tarvittavat määrät ovat pienempiä.

8.2.2 Sylomerit

Itävaltalaisen Getzner Chemie GmbH:n (www.getzner.com) valmistamaa solupolyeteuretaania Sylomer®:ia on käytetty Suomessa viime vuosina tuhansien herkkien laitteiden tärinäeristykseen. Sitä valmistetaan kymmenellä eri, värjäyksellä erotetulla, jäykkyydellä vaahdottamalla vaihteleva määrä ilmaa uretaani massaansa. Levyä on saatavilla neljää eri paksuutta ja niitä voi tarpeen mukaan pinota päällekkäin, jotta saavutetaan haluttu vahvuus ja eristysominaisuudet. Näihin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa myös leikkaamalla siitä pinta-alaltaan sopivan kokoisia palasia.

Samalta valmistajalta on saatavilla uudempi tuote, Sylodyn®, joka on umpisolurakenteinen ja siten eroaa Sylomerista. Levyn muokkaus sopivan kokoisiksi paloiksi tapahtuu pääsääntöisesti vesileikkauksella, joka osalta vaikuttaa tärinäeristeen hintaan. Karkeasti sanottuna Sylodynista valmistettu tärinäeriste on noin kaksi kertaa Sylomeria arvokkaampaa. Perusmalli valmiista tärinäeristeestä on muista eristeistä poiketen ympyrän muotoinen ja tilauksesta on saatavilla muunkin muotoisia kappaleita. Yksi suuri etu on erittäin pitkä käyttöikä, joka saavutetaan umpisolurakenteen vähäisen deformaation ansiosta. Vaikka materiaali onkin edeltäjänsä arvokkaampaa, kompensoi tätä seikkaa se, että materiaalia tarvitaan toimivaan tärinäeristykseen vähemmän. Olennaista on se, että matalammilla tärinäeristeillä päästään vähintään yhtä hyvään eristykseen.

8.2.3 Sorbothane

Sorbothane® (www.sorbothane.com) yhdistää iskun vaimennuksen, tärinäeristykseen ja – vaimennuksen sekä hyvät elastiset ominaisuudet. Lisäksi se toimii tehokkaasti äänen katkaisussa. Materiaalina se on vakaa ja sen myötöraja on suhteellisen korkea pitkälläkin rasitus ajoilla, mikäli pysytään lähes optimaalisissa kuormituksissa. Sorbothanesta valmistettuja tärinäeristeitä on saatavilla tarpeen mukaan lähes jokaiseen sovellutukseen. Tuotetta valmistavan amerikkalaisen yrityksen mukaan materiaali kestää kemikaaleja ja sitä voi uudelleen käyttää elastisuutensa vuoksi.

8.3 Kumilevyt ja – matot

Kumikappaleen jäykkyys riippuu materiaalin kimmokertoimesta ja kappaleen geometrisestä muodosta. Kappaleen muototekijä eli kuormituksen pinnan suhde vapaaseen pintaan kuvaa muodon vaikutusta jäykkyyteen. (P. Sainio 1988, 18.)

Levymäisistä kumimatoista, kiskomaisista ja listamaisista kumikappaleista voidaan leikata halutun kantokyvyn ja jäykkyyden omaavia eristimiä. Kumin jäykkyyden takia levymäiset ”umpiaineesta” valmistetut kumikappaleet eivät juuri jousta. Joustavuutta lisätään muotoilemalla matto sopivasti, esimerkiksi uramaiseksi tai kuppimaiseksi. Joustoa voidaan lisätä myös asettamalla useita mattoja päällekkäin. Kumieristeellä tehokkain vaimennus saadaan korkeilla taajuusalueilla (P. Sainio 1988, 19).

Kumi myös jäykistyy ajan kuluessa ja siihen kohdistuvat kuormat aiheuttavat helposti pysyviä deformaatioita. Kumista valmistettuihin tärinäeristimiin kohdistuvat lämpötilanvaihtelut vaikuttavat myös hieman sen eristyskykyyn. Perinteinen nitrilikumilla toteutettu tärinäeristys on todettu tehokkaaksi tavaksi eristää herkkä laite tärinälähteestä monissa olosuhteissa. Materiaalin valmistajia ja eri sovellutuksia löytyy Suomesta useita kymmeniä.

8.4 Sovellukset

8.4.1 Teknikum

Suomalainen Teknikum® (www.teknikum.com) valmistaa tärinäeristykseen tarkoitettua kumimattoa, kiskoja ja lieriöitä. Tuotteen hyviä puolia ovat muokattavuus sekä helposti laskettavissa olevat mitoitusperusteet, koska ainoa muuttuja eristeessä on pinta-ala. Kumimatosta on helppo leikata ja pinota sopivan kokoisia kappaleita eri tarkoituksiin. J. Eristin kestää myös joitain happoja ja liuottimia, joten mukaan se soveltuu mainiosti näitä aineita käsittelevien laboratorioden herkkien laitteiden vaimennuksiin. Tärinäeristys kiihtyvyyden suhteen saavutetaan mitoittamalla eristimet siten, että päädytään yli-kriittiseen eristykseen (Teknikum 2008). Tämä tarkoittaa sitä, että eristettävän laitteen

massa tulee olla keski- tai kaksinkertainen PC:n massaa suurempi tai vaimenninkappaleen erittäin pieni, jotta päästään tälle ylikriittiselle alueelle.

8.4.2 Novibra

Unisorb (www.unisorb.com) on amerikkalainen värinäeristeitä valmistava yritys, jonka Suomessa käytettäviä tuotteita ovat mm. Novibra® ja Vibralastic® kumieristeet. Novibralla louhintavärinä on yleisimmin eristetty matosta leikatuin paloin, joiden pinta-ala ja päällekkäisyyden määrä valitaan herkin laitteen massan mukaan. Tuotetta on saatavilla 4,5 mm ja 8 mm paksuudella ja sitä valmistetaan sekä tois- että molemminpuolisella urituksella.

8.4.3 Damtec

Tuote on sopivin rakenteiden värinäeristykseen, mutta soveltuu myös kohteisiin, joissa kiinteä asennus ei ole mahdollista tai kyseessä on esimerkiksi äänisillan katkaisu. Saksalaisen Kraiburg Relastec GmbH:n valmistama Damtec Vibra® (www.damtec.com.au) on värinäeristysmatto, joka valmistetaan osittain kierrätetystä solukumista. Matosta voidaan rakentaa leikkaamalla sopivia eristys ratkaisuita herkkien laitteiden värinäeristykseen. Puristuksen kestävyys vaihtelee malleittain 0,05–0,30 N/mm² ja erittäin herkille sovellutuksille on saatavilla eriste, jonka vähimmäiskuormitus on 0,005 N/mm².

8.5 Jouset

Pienimpiin enintään 1 Hz ominaistajuuksiin päästään ilmajousilla. Metallijousieristimillä pienin ominaistajuuks on noin 2 Hz, joita valmistetaan myös teräsvillamaista metallikudoksesta ja teräsköysistä. Osasten välinen kitka tekee näistä muihin metallijousiin verrattuna voimakkaasti vaimentavia. Suuresta vaimennuksesta johtuva eristimen lämpeneminen ei yleensä ole ongelma, koska teräs johtaa hyvin lämpöä. (P. Sainio 1988, 17–18.)

Kumijousiin luetaan jouset, jotka ovat valmistettu kokonaan tai osittain kumista. Niillä saadaan aikaan paitsi pehmeä tai kova jousitus kaikkiin suuntiin, myös vaimennus rakenteelle. Pienin ominaistaajuus on noin 10 Hz. Kumijouset suunnitellaan tavallisimmin puristusjännitys- tai leikkausjännitysrousiksi. Usein pyritään myös näiden jännityslajien yhdistämiseen. Runsas valikoima eri valmistajien jousityyppisiä ja -kokoja on saatavana valmiina sarjatuotteina. Kumisia värinäeristimiä valmistetaan sekä yksittäisinä joustoeliminä että metritavarana. Edellisiin luetaan erilaiset joustavat kiinnittimet ja asennusjalat. Jälkimmäiseen ryhmään kuuluvat matot, kiskot ja listat. (P. Sainio 1988, 18–19.)

9 TUTKIMUS

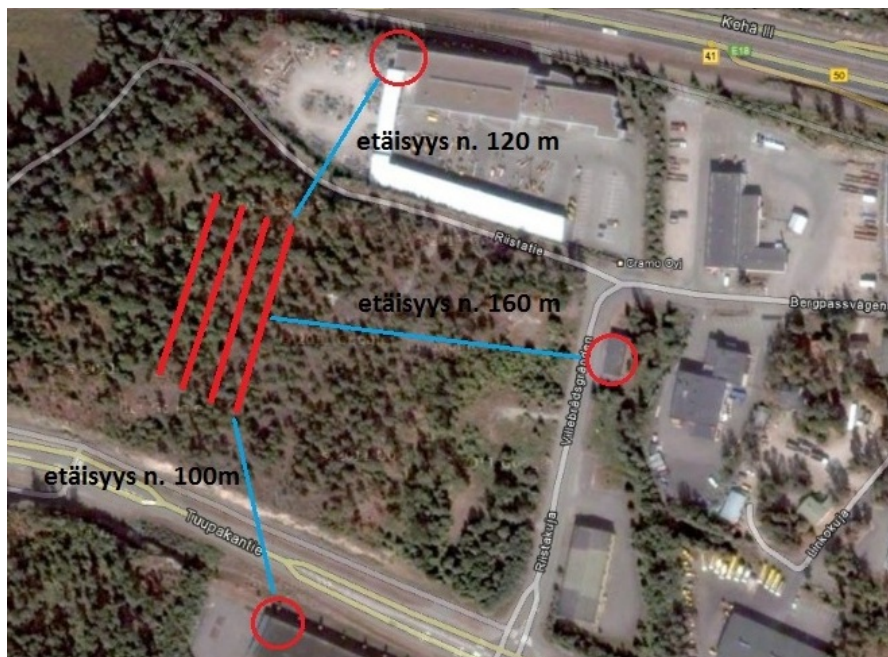
9.1 Testityömaan valinta

Työssä testattiin värinäeristemateriaaleja kohteessa, joka sijaitsi yli 100 metrin päässä louhintatyömaasta. Pitkillä etäisyyksillä värinäaaltojen taajuudet ovat matalia eikä värinäherkkien laitteiden eristämistä yleisesti suositella. Yleensä etäisyys värinäälähteen ja eristettävän laitteen välillä on pieni, joten taajuudet ovat korkeita. Eristystyön laatu ja eristeen toimivuus ovat riippuvaisia monesta muuttuvasta tekijästä, joten työssä haluttiin tuloksia eri tavoin ja eri materiaaleilla suoritetuista värinäeristyksistä. Testityömaan lähtökriteereinä olivat, että louhintatyömaan tulee aiheuttaa kohteen rakenteille yli 10 mm/s:n heilahdusnopeuksia ja vähintään 2,45 m/s²:n kiihtyvyyden arvoja, jotka vastaavat IBM:n tietokoneille ilmoittamaa raja-arvoa 0,25 g. Lisäksi rakennuksen kantavien rakenteiden ja pohjan tulisi olla betonivalmisteisia niiden ominaistaajuuksien vuoksi.

Sopivan louhintatyömaan etsintä tapahtui pääasiassa seuraamalla useiden eri työmaiden aiheuttamia värinöitä kuukauden ajan. Lähtökriteerien täytyessä katsottiin työmaan sijainti, jonka tuli olla kaupunkialueella. Louhinnan piti olla silti mahdollisimman massiivista, eli kerralla irrotettavan kuutiomäärän piti olla suuri. Louhintatyömaan sijainnin perusteella myös arvioitiin sitä ympäröiviin rakennuksiin saapuvien värinöiden taajuuksia.

9.2 Tutkimuskohteen valinta

Tutkimustyön kohteeksi valittiin Tuupakan teollisuuskorttelin louhintatyömaa (kuva 25), Vantaalla Kehä III:n vieressä otollisten lähtöarvojen ja kriteerien toteutumisen vuoksi. Räjätyspöytäkirjoista saatiin louhinnan kenttäkoot ja momentaaniset räjähdysainemäärät, jotka olivat ennen varsinaisen tutkimustyön aloitusta 4 000–4 500 m³ ja 33–37 kg. Tarkoituksena oli saada tuloksia tärinäeristämisen tarpeesta ja tehokkuudesta sellaisilla etäisyyksillä ja taajuusalueilla, joista ei ole juuri tutkittu ja jotka jakavat mielipiteitä. Kustannussyistä ja matalien taajuuksien aiheuttaman huonon vaimennussuhteen takia tärinäeristystä ei aina tehdä tutkimuksen mukaisissa olosuhteissa. Yleinen käsitys on, etteivät tärinäeristimet toimi hyvin tai ollenkaan pitkillä etäisyyksillä. Enimmillään etäisyys herkän laitteen ja tärinälähteen välillä oli noin 170 metriä ja rakennuksen rakenteesta mitattujen kaikkien kolmen suuntakomponentin taajuuksien keskiarvo oli tutkimuksen ajan noin 35 Hz.



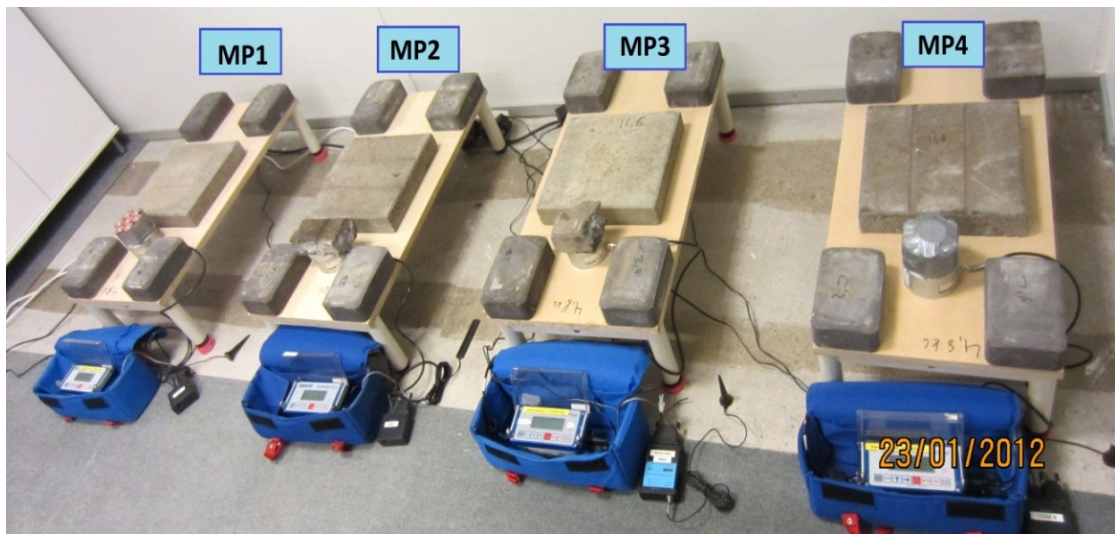
KUVA 25. Tuupakan louhintatyömaa ja mittauspisteet (GoogleMaps 2012).

Ennen varsinaisen tutkimuskohteen rakentamista louhintatyömaan aiheuttamia häiriöitä seurattiin kolmesta eri pisteestä (kuva 25) Sigicom Infra Mini tärinämittareilla 12.12.2011–18.1.2012. Mittaustulosten (liite 3) ja näiden kolmen kohteen rakennustapaselostusten perusteella päädyttiin suorittamaan tutkimus Cramo Oy:n toimistotiloissa, jotka sijaitsevat kuvassa 25 ylimpänä. Testityömaalle rakennettiin keskenään identtisiä

mittauspisteitä, jossa seurattiin räjäytyksestä aiheutuvien värinäaaltojen vaikutusta eristetyille sekä eristämättömälle laitteelle. Mittauspisteitä kohteessa oli kuusi, joista neljä oli vertailupalvelinkaapeissa, yksi betonilattiassa ja yksi rakennuksen rungossa.

9.3 Käytetyt menetelmät

Kohteeseen rakennettiin tutkimusta varten neljä herkkää laitetta mallintavia kehikoita, joista jokaiseen asennettiin Instantel MiniMate Plus värinämittari (kuva 26). Kolme näistä vertailukaapeista eristettiin louhintatärinältä siihen tarkoitetuilla materiaaleilla ja yksi referenssikaappina toimiva jätettiin eristämättä. Tutkimuksessa seurattiin kehikoiden värinöiden lisäksi niihin kohdistuvan värinän suuruutta rakennuksen maanvaraisesta betonilattiasta kehikoiden vierestä Instantel MiniMate Plus mittarilla, sekä rakennuksen louhinnan puoleisesta kantavasta betonipilarista Sigicom Infra Mini värinämittarilla (kuva 27). Louhinnan suunta on kuviin nähden vasemmalla.



KUVA 26. Neljä rakennettua vertailutelinettä rakennuksen ulkoseinän vieressä. Mittareina etäluettavat Instantel MiniMate Plus värinämittarit. Referenssimittauspisteinä toimi mittauspiste MP2, jota ei ole eristetty tärinältä.



KUVA 27. Maanvaraiseen betonilattiaan asennettu InstanTel MiniMate tärinämittari MP5, sekä louhintaa lähinnä olevaan betonipilariin asennettu Sigicom Infra tärinäanturi MP6.

Vertailutelineiden teräsvalmisteinen runko oli pinta-alaltaan $3\,300\text{ mm}^2$ ja se seiso neljän sylinterin muotoisen halkaisijaltaan 40 mm jalan varassa. Teräsjaloiissa oli kiinteästi asennetut kovasta muovista valmistetut 13 mm paksut muovikengät, joilla ei ollut tärinää vaimentavaa vaikutusta. Runkojen päälle liimattiin rungon pinta-alaa vastaavat 20 mm paksut vanerilevyt, joiden päälle tärinämittarit asennettiin. Anturin asennus tehtiin kehdikon keskipalkin päälle levyn etuosaan läpipulttauksella ja teollisuusteipillä. Vaneri valittiin testiin sen neutraalien tärinäominaisuuksien vuoksi ja niillä saattoi olla jopa tärinää vaimentava vaikutus mittauksiin. Teräs olisi puolestaan saattanut merkittävästi nostaa antureille saapuvien aaltojen taajuuksia.

Tutkimuksesta tehtiin mahdollisimman käytännön tilanteen mukainen rakentamalla telineille riittävästi massaa. Tämä saatiin aikaan suorakulmaisilla betonitiilillä, jotka asetettiin vanerilevyn päälle kuvan 26 mukaisesti. Testin päätavoitteena oli tutkia Syldynistä valmistettua tärinäeristettä, joten vertailutelineiden aiheuttama kuorma optimoitiin käyttäen Christian Berner Oy:n toimittamaa materiaalille tarkoitettua laskentaohjelmaa. Telineiden massa rakennettiin vastaamaan neljää sylinterin muotoista Syldyn NB40Ø eristintä, korkeudeltaan 12,5 mm. Käytössä olleen eristeen halkaisija oli 50 mm, mutta sitä kuormittava jalan pinta-ala oli määräävä tekijä laskennassa. Tällöin 100 %:n kuormitustasoksi saatiin 32,5 kg (liite 4) käyttäen laskentaohjelmaa ja alustavat tärinämitaustulokset huomioden. Laskennassa otettiin huomioon kuorman suuruuden lisäksi tärinäeristemateriaalin muoto ja tiheys. Rakenneosien punnitus tehtiin vaa'alla, jonka tarkkuus on 50 g.

Valittu eristemateriaali on kyseisen tuotesarjan valikoiman pehmein materiaali ja tutkimustyön mukaista asennustapaa käyttäen se soveltuu kevyille 25–50 kg kuormille. Herkkien laitteiden, varsinkin palvelinkaappien jalat ovat yleensä pyöreitä ja tutkimustyössä käytössä olleet Sylodyn eristetyypit on suunniteltu tätä ajatellen. Eristystyö suoritettiin nelipistevaimennuksena eli laitteen jokaisen jalan alle asennettiin oma tärinäeristin (Kuva 28). Kuorma jaettiin tasaisesti kaikkien neljän jalan kesken, jotka asetettiin keskelle tärinäeristettä.



KUVA 28. Sylodynillä toteutettu optimaalinen herkän laitteen nelipistetärinäeristys mittauspisteessä MP3.

Mittapisteet MP1–MP4 eristettiin louhintatärinäältä taulukon 8 mukaisesti. Tutkittavana oli yhteensä viisi erilaista tärinäeristysmateriaalia tai -tapaa, joista jokaiselle saatiin vähintään viisi louhintaräjähdyksen aiheuttamaa mittaustulosta.

TAULUKKO 8. Tutkimustyössä käytetyt tärinäeristeet mittauspisteillä 1–4.

Vaimennustapa		Mitat (mm)	Räjähdyksen numero
MP1	Sylodyn, ylikriittinen	$h = 25, \varnothing 50$	1 – 5
	Sylomer, optimaalinen	25 x 50 x 50	6 – 10
MP2	Vaimentamaton	-	1 – 10
MP3	Sylodyn, optimaalinen	$h = 12,5, \varnothing 50$	1 – 10
MP4	Teknikum iso	5 x 50 x 50	1 – 5
	Teknikum pieni	5 x 10 x 20	6 – 10

Laskentaohjelmalla saadaan Sylodyn ja Sylomer eristeille liitteiden 4 ja 5 mukaisesti 100 % kuormitustaso, joka tarkoittaa tärinäeristysten ja kuormasta aiheutuvan painuman optimaalisinta tasoa. Kuormituksen ylittäessä rajan saavutetaan tietyissä tilanteissa parempi eristyskyky, mutta materiaali alkaa kuoleentua ja painumaan kasvavalla nopeudella, jolloin sen käyttöikä lyhenee huomattavasti. Tätä yli 100 % kuormitustasoa kutsutaan yleisesti ylikriittiseksi tasoksi (Vuolio 2010, 315; Tuovinen 2012).

Vajaa alle 100 % kuormitustaso tarkoittaa yleensä, että eriste on liian jäykkä eikä se toimi tarkoitetulla tavalla. Riski louhintätärinän taajuuksien osumisesta eristeen ominaistajuuksille on tällöin suurempi. Tätä tasoa kutsutaan joskus alikriittiseksi tasoksi. Mittauspisteen MP1 ylikriittinen eristys toteutettiin kaksinkertaisella kerrospaksuudella käyttäen samaa materiaalia kuin mittauspisteessä MP3. Kerrospaksuuden kasvaessa eristeen kantavuus laskee kuten liitteestä 6 käy ilmi. Kuormitustaso kasvoi tässä tapauksessa 10 %, joten tärinäeristys on lievästi ylikriittinen.

Mittauspisteiden lisäksi kohteeseen rakennettiin noin 30 kg painava, ison tornikotelon kokoinen palvelin, joka asetettiin testikehikoiden tavoin betonilattialle (kuva 29). Tärinän vaimennuksen toimivuuden lisäksi tässä tutkimuksessa haluttiin testata palvelimen sisältämien kovalevyjen todellista tärinänkestävyyttä, joten se jätettiin vaimentamatta.



KUVA 29. Palvelin joka sisältää viisi lukutilassa olevaa kovalevyä.

Tällaisten palvelimien ja pöytätietokoneiden rakenteissa on vaihtelua tärinälle herkkien osien suhteen, ja niitä on mahdotonta tietää vaimennusta suunniteltaessa. Kokeelliseen palvelimeen asennettiin viisi eri-ikäistä ja vaihtelevan määrän käytettyjä kovalevyjä. Toinen olennainen tärinänkestävyyteen liittyvä seikka on levyjen asennussuunta, joka voi olla vaakaan tai kyljelleen. Vaurioitumisriski on suurimmillaan, kun kovalevy on lukutilassa ja siihen kohdistuu isku kuvan 30 osoittamassa suunnassa.



KUVA 30. Levytallennin ja tärinälle herkin liikkumissuunta (www.pureinfotech.com).

Mikäli kovalevy on asennettuna kyljelleen, ovat pitkittäis- tai poikittaissuuntaiset tärinäaallot merkitsevä tekijä. Yleisin asennus tapa on kuitenkin kuvan 30 mukainen vaakaa-asennus, jolloin tärinän pystykomponentti aiheuttaa suurimman riskin vaurioitumiselle. Vaihtelevien rakenteiden vuoksi koepalvelimen kaksi kovalevyistä asennettiin kyljelleen ja kolme vaakaa-asentoon. Tietokoneen lukutila saatiin aikaan ohjelmistolla, joka kirjoittaa ja lukee kaikkia asennettuja kovalevyjä ympäri vuorokauden. Koejärjestelyt olivat sellaisia, että kovalevyjen vaurioitumisriski oli suurimmillaan koko tutkimuksen ajan ja levytallentimien käyttöikä vastasi teoriassa 1–50 vuotta.

9.4 Tulokset

Louhintatyötä lähinnä olevasta betonipilarista mitatuista tärinäarvoista nähdään rakennukseen kantaviin rakenteisiin saapuvien aaltojen taajuuksien keskiarvon olleen tutkimuksen ajan noin 35 Hz. Saatua tulos vastasi ennako-odotuksia matalista taajuuksista, joka on tyypillinen etäisyyksille 100–200 metriä. Suurin tärinäaaltojen aiheuttama rakenteen heilahdusnopeus oli mittausjakson aikana 14,3 mm/s. Kallioperusteiselle betonirakenteiselle rakennukselle asetettu raja-arvo oli 70 mm/s. Tulos mitattiin koh-

tisuorassa pysty akselin suuntaan nähden, joten se on teoriassa esitetyn värinäaaltojen käyttäytymismallin kanssa johdonmukainen.

Betonilattiasta mitattiin pystysuunnassa 11,9 mm/s:n heilahdusnopeuksia keskimäärin 22 Hz:n taajuuksilla. Maanvaraisen laatan aiheuttama taajuuden aleneminen on havaittavissa kun tulosta verrataan kantavasta pilarista mitattuihin tuloksiin (9.2). Enimmäislään laitteisiin kohdistuva kiihtyvyyden arvo oli 0,53 g ja jokainen mittaustulos ylitti yleisen eristämättömille laitteille asetetun raja-arvon 0,25 g. Amplitudit olivat molemmissa mittauspisteissä enintään 0,1 mm, joka ei vielä aiheuta ohjearvojen mukaan riskiä herkille rakenteille.

Panostuksen yhteyttä värinän suuruuteen tarkastelukohteessa voidaan arvioida kaavan (11) avulla. Räjätyspöytäkirjasta saatujen tietojen mukaan ensimmäisen vertailutelineistä mitatun räjäytyksen momentaaninen räjähdeainemäärä Q oli 36,86 kg ja etäisyys R 150 metriä. Mikäli kaavaa lähestytään Langefors & Kihlströmin oletuksen mukaan, kallion värinänjohtavuusluku on vakio $k = 400$. Tällöin saadaan heilahdusnopeuden arvoksi:

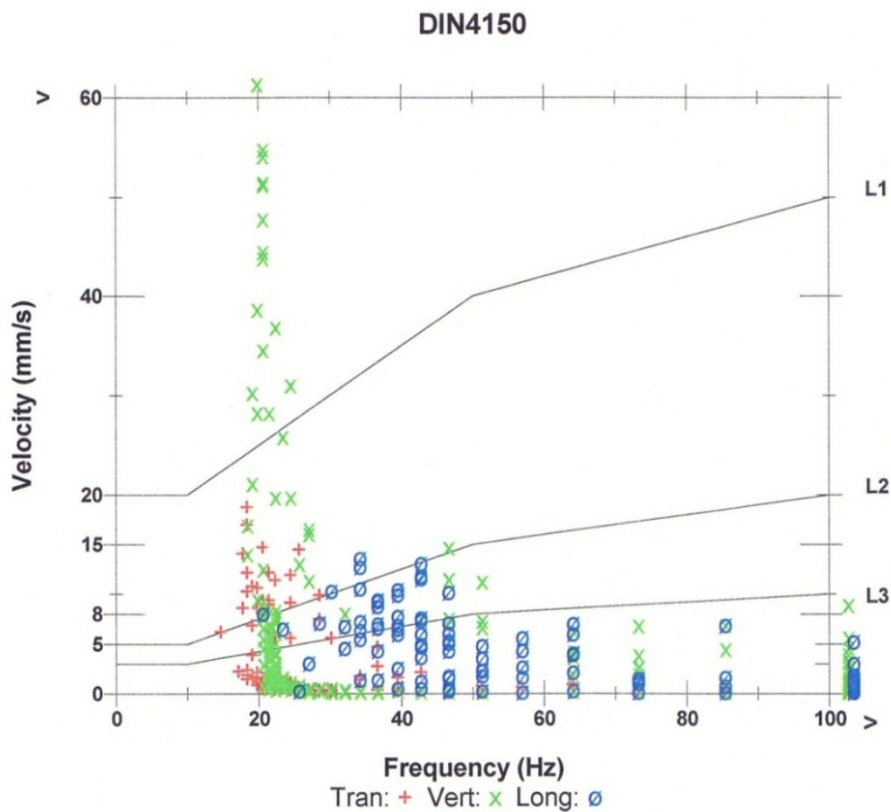
$$v = 400 \sqrt{\frac{36,86}{150^{1,5}}} = 16,2 \text{ mm/s}$$

Laskennallinen värinän suuruus on lähellä todellista betonipilarista mitattua värinäarvoa. Kallion värinänjohtavuusluku $k = 400$ teoriassa louhinnan välittömässä läheisyydessä ja skaalattuna 150 metrin etäisyydelle se on noin 20.

9.5 Referenssi mittauspiste

Vaimentamaton teline toimi testissä referenssikohteena mittauspisteessä MP2. Saaduista mittaustuloksista nähdään kuinka eristämätön laite reagoi värinäaaltoihin jopa voimistuen niitä resonanssin seurauksena. Tämä voidaan todeta mm. kuvassa 31 esitetyn tutkimuksen suurimman mittaustuloksen analyysin perusteella, jossa aaltojen värinähuiput eli pisteparvi keskittyy tietylle taajuudelle. Vaimentamattomasta laitteesta mitatut kiihtyvyyden arvot olivat keskimäärin noin kolme kertaa suurempia lattiasta mitattuihin ver-

rattuna, ylittäen yleisen herkille laitteille asetetun raja-arvon nelinkertaisesti. Kaikki tulokset eristämättömässä referenssilaitteessa ylittivät suositellun raja-arvon 0,25 g.



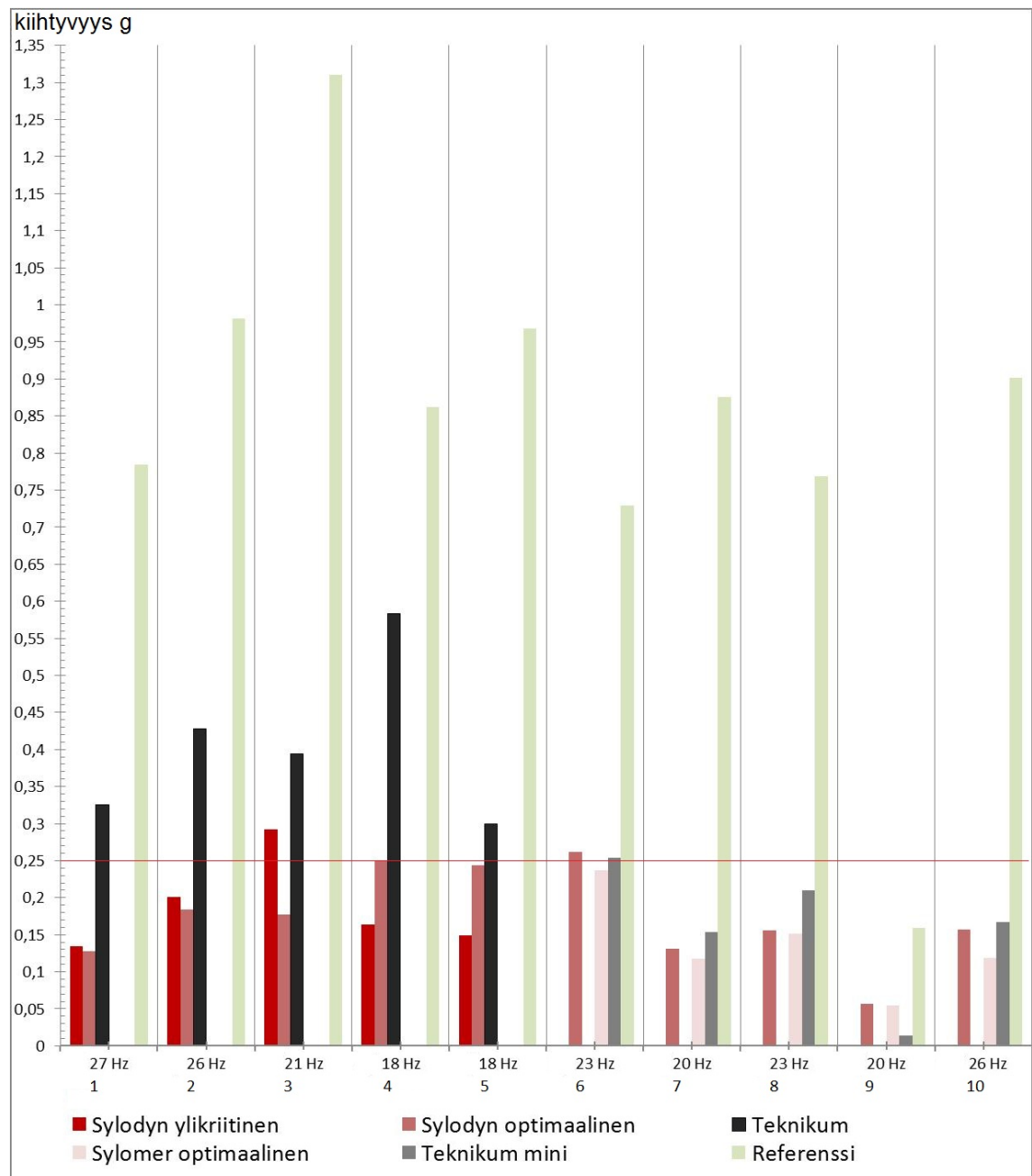
KUVA 31. Eristämättömän referenssilaitteen mittaustulos, jossa heilahdusnopeuden kaikkien kolmen komponentin huippuarvot on esitetty taajuuden funktiona.

Teorian mukaan värinäaallot voimistuvat, rakenteesta riippuen, tiettyyn tasoon asti niiden siirtyessä rakennetta ylöspäin. Palvelinkaapit ovat yleensä yli 2 m korkeita, joten resonanssin aiheuttama voimistuminen sen korkeimmissa osissa voi olla huomattavan suurta. Palvelinkaappien yksilöllinen ominaistajuus riippuu sen rakenteesta ja valmistusmateriaalista, joka vaikuttaa resonanssin voimakkuuteen ja taajuusalueeseen jossa sitä ilmenee. Vanerin vaikutus tuloksiin oli mittaustulosten perusteella vähäinen.

9.6 Tärinäeristyksen tulokset

Tärinäeristeiden eristyskykyä on arvioitu mittauspisteistä MP1–MP4 saatujen tuloksien perusteella. Mitattuja tuloksia on vertailtu kuvassa 32, jossa referenssimittauspisteinä on vaimentamaton vertailuteline. Tuloksista nähdään yleisen herkille laitteille asetetun

raja-arvon ylittyvään 3–4 kertaisesti referenssilaitteessa. Kaikki tärinäeristimet ovat vaimentaneet resonanssi-ilmion aiheuttamaa tärinän voimistumista laitteessa itsessään ja tähän verratut eristyssuhteet ovat kohtalaisia tai hyviä. Rakenteeltaan paksummilla eristeillä on saavutettu parempi eristyssuhde taajuuksien ollessa 20 Hz tai alle. Laitteeseen kohdistuvan tärinän eristyssuhde jäi kaikilla materiaaleilla heikoksi. Kuvaan on merkitty louhintaräjäytysten herätteiden taajuudet räjäytys numeroittain. Herätteiden taajuudet on mitattu betonilattiasta mittauspisteestä MP5 laitteiden välittömästä läheisyydestä. Mittauspisteistä saadut tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 8.



KUVA 32. Laitteista mitatut tärinäarvot ja herätteiden taajuudet.

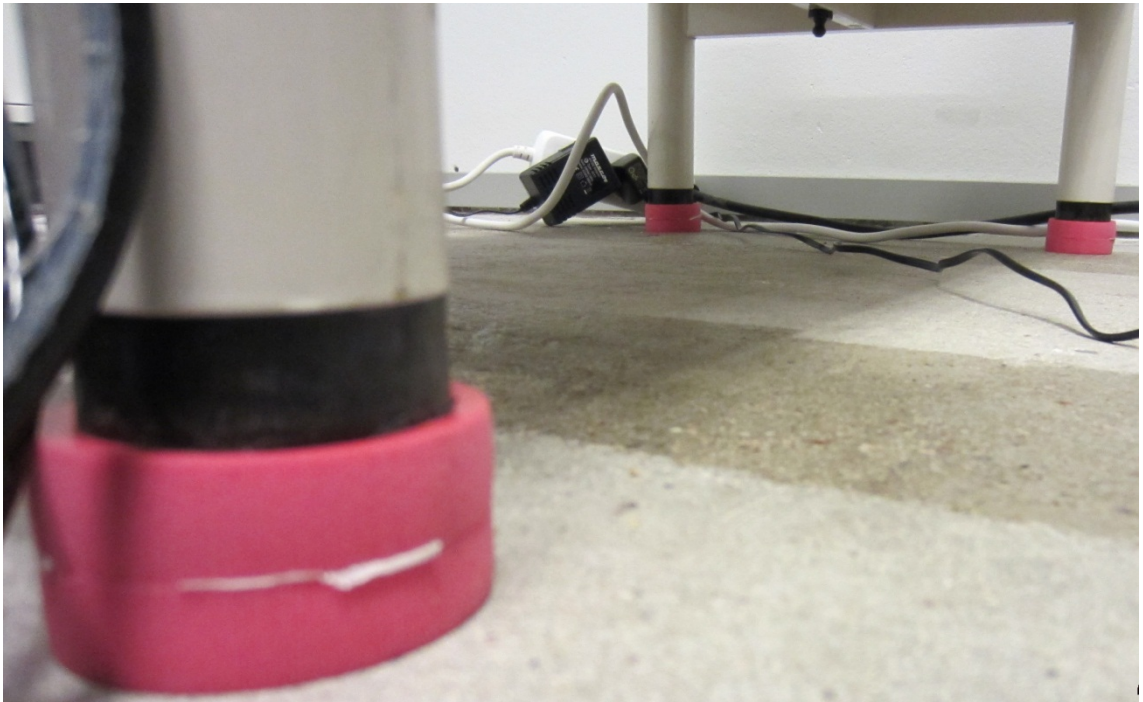
9.6.1 Sylodyn tulokset

Mittauspisteissä MP1 ja MP3 värinäeristys on toteutettu Sylodynilla. Tulosten perusteella optimaalinen värinäeristys toimi kohtalaisesti värinäaaltojen taajuuksien ollessa erittäin matalia (noin 20 Hz). Yli 40 Hz taajuudet materiaali on eristänyt erittäin hyvin. Tuloksista on tärkeää huomata eristämättömän laitteen (MP2) ja Sylodynilla (MP1 ja MP3) eristetyn laitteen väliset kiihtyvyyden arvon erot. Vaikka Sylodyn eristää värinäaaltoja matalilla noin 18–30 Hz taajuuksilla välttävästi, estää se herkän laitteen resonanssitilanteen ja sitä kautta värinäaaltojen voimistumisen itse laitteen rakenteessa. Yleisesti käytetyt kiihtyvyyden raja-arvot on ilmoitettu tietoteknisille laitteille tai laitekokoisuuksille eikä niiden sisältämille komponenteille. Palvelinkaappien tapauksessa tämä tarkoittaa joko itse kaappia tai niissä olevia levymuistiyksiköitä. Yleiset tavat ovat mitata laitteisiin kohdistuvaa värinää sen välittömästä läheisyydestä lattiasta, jolloin itse laitteen värinä jätetään huomiotta tai sen metallisesta rungosta laitteen pohjalta. Sylodynilla saavutetut eristyssuhteet on listattu taulukossa 9. Pystykomponentin taajuudet ja kiihtyvyyden vertailuarvot on mitattu lattiasta mittauspisteessä MP2. Laskentaohjelmalla saadaan optimaalisella kuormitustasolla eristyssuhteeksi -20 %, kun taajuus 20 Hz ja 46 %, kun taajuus 25 Hz (liite 4). Mitattu tulos on siten teoreettisia laskelmia osittain parempi.

TAULUKKO 9. Sylodynillä saavutetut eristyssuhteet ja lattiasta mitatut herätetaajuudet.

Tulos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%	59,6	33,8	33,8	34,3	34,1	33,3	52,4	70,4	38,2	61,8
Hz	27	26	21	18	18	23	20	23	20	26

Eristeen rakennekorkeutta lisäämällä saavutettu ylikriittinen eristys (MP1) osoittautui ennakkolaskelmien ja teorian mukaisesti toimivaksi erittäin matalilla taajuuksilla (Kuva 33). Kun herätetaajuus oli alle 20 Hz, kuvan 32 räjäytystuloksista 4 ja 5 nähdään 10 %:n ylikriittisellä eristyksellä saavutettu noin 20–25 % parempi eristyssuhde. Tuloksissa 1 ja 2, jossa värinäaaltojen taajuus oli korkeampi, eristyssuhde jäi lievästi Sylodynin heikommaksi. Tuloksessa 3 se jopa voimisti laitteen värinää 10 %. Laskentaohjelmalla eristystasoksi saatiin 46 %, kun aallon taajuus oli 16 Hz ja 71 %, kun se oli 20 Hz (liite 6).



KUVA 33. Sylodynillä toteutettu lievästi ylikriittinen 25 mm korkea tärinäeristys.

Tilanne, jossa louhinta on kaukana yli 100 m päässä herkstä laitteesta (esim. taajama-alueilla) ja jossa tärinäaallot edelleen aiheuttavat riskin laitteen rikkoutumiselle, on yleensä harvinainen. Tutkimuskohteessa suoritettu eristystyö osoittautui kuitenkin tulosten perusteella hyödylliseksi, mikäli niitä verrataan yleisiin raja-arvoihin. Asutuskeskuksissa suoritettavien louhintojen momentaaniset räjähdemäärät ja etäisyydet rakenteisiin ovat yleensä pieniä, joka tarkoittaa tärinäaaltojen korkeita taajuuksia. Tällöin eristyksestä saatu hyöty on kiistaton.

9.6.2 Teknikum tulokset

Teknikumin 50 x 50 eristekumilla tehty passiivieristys (MP4) osoittautui heikosti toimivaksi tutkimuksessa vallitsevissa olosuhteissa, eikä sillä saavutettu yleistä herkkien laitteiden raja-arvoa alittavaa eristystä (kuva 34). Tärinät voimistuivat testitelineessä mittaustuloksissa 2–4 noin 48–54 %, ensimmäisessä tuloksessa voimistuminen oli vähäistä ja viidennen mittaustuloksen eristyssuhde oli 19 %. Vaikka kumieriste ei kokonaan estänyt laitteessa tapahtuvaa voimistumista, esti se kuitenkin laitteen ominaisvärähtelystä aiheutuvien suurimpien tärinähuippujen syntymisen.



KUVA 34. Teknikum 50 x 50 eristemateriaali.

Aluksi valittu, yleisesti herkkien laitteiden eristykseen käytetty eristekoko, oli tutkimuksessa käytetylle kuormalle hieman liian jäykkä, joten viiden mittaustuloksen jälkeen tilalle vaihdettiin pinta-alaltaan pienempi eriste (kuva 35). Lisää jousto-ominaisuutta saadaan myös korkeammalla eristeellä, mutta tässä tapauksessa se pidettiin samana. Arviolta pienemmäksi leikattu ja aikaisemmin käyttämätön Teknikum 10 x 20 pala osoittautui tulosten 6–10 perusteella myös heikosti tärinää eristäväksi matalilla taajuuksilla, mutta eristysuhteet olivat kuitenkin lähellä Sylodynilla saavutettuja. Kuudennessa räjäytyksessä mitattiin lievä raja-arvon ylitys pienemmälläkin kumieristeellä. Liitteessä 7 on esitetty Teknikumin eristemateriaaleille tarkoitetut taulukot eristyksen suunnittelua varten.



KUVA 35. Teknikum 10 x 20 eristemateriaali.

9.6.3 Sylomer tulokset

Tutkimuksen ollessa käynnissä Christian Berner toimitti uutta mallia edustavan Sylomer SR42 eristemateriaalin. Mittauspisteelle MP1 vaihdettiin kyseinen eriste tutkimuksen puolesta välissä, joten sen toimivuus nähdään tuloksista 6–10. Optimaalinen eristyssuhde laskettiin Getznerin suunnitteluohjelmalla käytössä olevalle 32,5 kg kuormalle, jotta tulokset olisivat suoraan vertailukelpoisia. Laskentaohjelman mukaan saavutetaan 16 Hz:n taajuudella kyseessä olevalla eristeellä 19 %:n eristyssuhde ja 20 Hz:n taajuudella vastaavasti 59 %. Eriste valittiin leikattuina 25 x 50 x 50 paloiksi, mutta teoriassa paras mahdollinen suhde olisi saavutettu sylinterin muotoisella, halkaisijaltaan 50 mm eristeellä. Palan muotoilu vaatii vesileikkausta, mitä ei voitu toteuttaa aikataulusyistä. Tämä ratkaistiin asentamalla laitteen ja eristeen väliin vastaavan kokoinen metallilevy (kuva 36).



KUVA 36. Optimaalinen Sylomerilla toteutettu värinäeristys. Jalan ja eristeen välissä halkaisijaltaan 50 mm metallilevy.

Mittaustuloksista 6–10 nähdään laitteesta (MP1) mitattujen kiihtyvyyden arvojen olevan tutkimuksen pienimmät. Taulukossa 10 on vertailtu Sylodynilla ja Sylomerilla saavutettuja eristyssuhteita, jotka on laskettu vertaamalla lattiasta ja laitteesta mitattuja pystykomponentin kiihtyvyyden arvoja toisiinsa. Tutkimustulos tukee teoriaa, jonka mukaan eristeen rakennekorkeus vaikuttaa sen kykyyn vaimentaa matalia taajuuksia. Sylodynilla

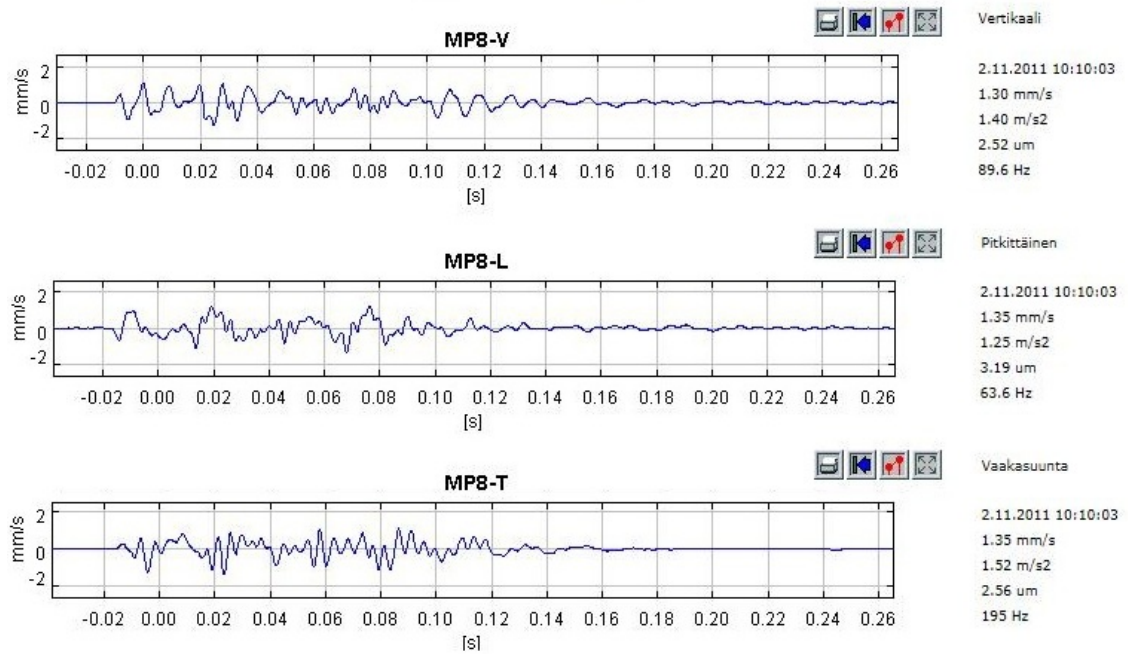
12,5 mm rakennekorkeudella saavutetut eristyssuhteet olivat kuitenkin hyvin lähellä 25 mm korkean Sylomerin arvoja, vaikka sen rakennekorkeus on puolet pienempi.

TAULUKKO 10. Sylodynillä ja Sylomerilla saavutettujen vaimennussuhteiden vertailu.

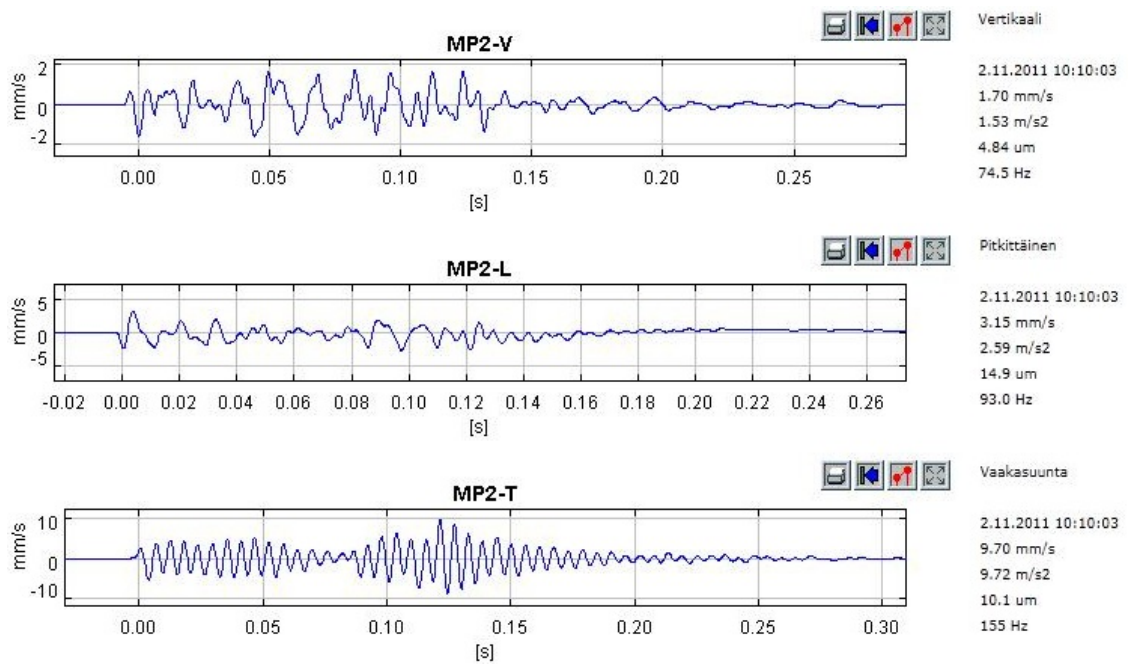
Tulos	6	7	8	9	10
Sylodyn %	33,3	52,4	70,4	38,2	61,8
Sylomer %	39,7	57	71,4	40	71
Erotus	+ 6,4	+ 4,6	+ 1	+ 1,8	+ 9,2

9.7 Käytännön ongelmatilanne

Seuraava käytännön esimerkki on toiselta louhintatyömaalta, jonka värinämittaustuloksien avulla voidaan tarkastella louhintatärinästä aiheutuvan resonanssin vaikutusta herkässä laitteessa. Kuvissa 37 ja 38 on lähellä toisiaan sijaitsevien anturien tallentamat mittaustulokset. Mittauspisteiden etäisyys louhintaan on noin 70 metriä. Kuvan 37 arvot on mitattu laittilan nurkasta kantavasta betonipilarista siten, että L-komponentti oli kohti louhintaa. Samansuuntaisesti asennettu toinen anturi oli vaimentamattoman palvelinkaapin rungon alaosassa, joka oli korotetun lattian päällä seisontajaloilla. Kuvista nähdään pystykomponentin kiihtyvyyden arvon pysyvän alle yleisen herkkien laitteiden raja-arvon $2,5 \text{ m/s}^2$ molemmissa rakenteissa, vaikka havaittavissa on lievä voimistuminen itse laitteessa. Vaaka- ja pitkittäissuuntaiset värinääallot näyttävät voimistuvan resonanssin seurauksena laitteessa ylittäen raja-arvon lähes nelinkertaisesti. Esimerkin mukainen tilanne oli yllättävä, sillä rakenteesta mitatut heilahdusnopeudet olivat pieniä.



KUVA 37. Esimerkkikohteen betonipilarista mitatut värinäarvot.



KUVA 38. Esimerkkikohteen vaimentamattoman palvelinkaapin mittaustulos.

10 ERISTYSTYÖN LAATU

10.1 Eristystyö yleisesti

Tärinänvaimennuksien suunnittelu ja toteuttaminen käytännön tilanteessa vaatii ammattitaitoa ja ennen kaikkea kokemusta. Kun tiedetään kaikki louhintatyöhön sekä laitteeseen liittyvät lähtötiedot ja vaimennettava laite on helposti lähestyttävissä, vaimennusmateriaalin ja menetelmän valinta sujuu yleensä ongelmitta. Perusteellisella esisuunnittelulla vaikutetaan lähtötietojen täydellisyyteen, ja niiden avulla päästään lähemmäs tavoiteltua noin 90 %:n vaimennusastetta. Vaikka laitteen sijaintiin ei pystytä vaikuttamaan, saadaan tarvittavat tiedot siitä millä työkaluilla ja miten laitetta tulisi lähestyä. Yleensä esitiedot ovat kuitenkin puutteellisia tai ne eivät vastaa todellisuutta, jolloin joudutaan tekemään kompromisseja eristämistyön suhteen. Lähtötietojen ja teorian pohjalta tehdyt suunnitelmat joudutaan hyvin usein uusimaan, mikäli yksikin muuttuja poikkeaa ennakoituista.

Merkittävä etu vaimennustyössä on teknisten laitteiden tuntemuksesta, joten vaimentaminen tulee tehdä yhteistyössä laitteista ja laboratorioista vastaavien henkilöiden kanssa. Henkilöt tietävät, miten laitteita käytetään ja mitkä niistä ovat herkkiä tärinälle. Vastuuhenkilön kanssa yhteistyössä arvioidaan tärinästä aiheutuvaa riskiä laitteen häiriötymiselle tai vaurioitumiselle. Joskus kuitenkin tärinäeristyksen tekijä joutuu itse harkitsemaan laitteen tärinäherkkyyden. Yleensä kovalevyn sisältämät laitteet eristetään aina, lukuun ottamatta kannettavia tietokoneita. Nauha-asetat ovat toinen hyvin yleinen eristettävä kohde. Riskin arvioinnin jälkeen suunnitellaan keinot, joilla sitä saadaan pienennettyä.

10.2 Eristysmateriaalin valinta

Suomessa käytettävien tärinäeristeiden ja työtapojen taso on yleensä hyvä, mutta on kuitenkin tapauksia, joissa tärinäeristykseen on käytetty löyhin perustein sopivia tai jopa tarkoitukseen soveltumattomia eristemateriaaleja. Herkkien laitteiden eristystyöt tulisi tehdä siihen tarkoitukseen valmistetuilla tuotteilla, jotka ovat sertifioituja ja testattuja. (Tuovinen 2012.)

Ympäristöselvityksessä ja riskianalyysissä käytetään määritelmää: ”Herkkien laitteiden tärinäeristys tulee suorittaa vain siihen tarkoitettulla materiaalilla.” (liite 2). Vuolio huomauttaa teoksessaan vääränlaisten eristimien mahdollisuudesta aiheuttaa laitteelle enemmän haittaa kuin hyötyä (Vuolio 2010, 315). Vääränlaisia eristimiä ovat sekä tärinäeristykseen sopimattomat materiaalit että väärin mitoitettut materiaalit. Seurauksena voi olla laitteeseen kohdistuvan tärinän vahvistuminen. Toinen riski voi seurata tilanteesta, jossa työmaalla luullaan eristyksen olevan kunnossa ja panostus suunnitellaan rakennuksille asetettujen raja-arvojen mukaisesti. Tällöin voi seurata huomattavia tärinän ohjearvojen ylityksiä herkille laitteille. Tutkimuksesta saadut mittaustulokset myös osoittavat, miten väärin mitoitettu eriste voi aiheuttaa haittaa laitteelle.

Koska eristystyö pyritään suorittamaan kustannustehokkaasti ja usein työn suorittamiseen on työmaalta annettu vain vähän, materiaali saatetaan valita väärin. Yleinen ja useasti aliarvioitu tilanne on sellainen, jossa suojattavan laitteen massa ei ole tarpeeksi suuri valitulle tärinäeristeelle. Suunnittelu- tai mitoitusvirhe sekä vanha ja kovettunut eristin ovat myös syitä, miksi taajuussuhde voi jäädä liian pieneksi. Riskialttiimmat taajuudet tärinääaltojen aiheuttamalle laitteen resonanssilalle ovat 5–80 Hz, ja liian jäykällä eristimellä voidaan saada teoreettisesti laskettuna aikaan jopa 1 000 %:n voimistuminen laitteessa 100 Hz:n taajuudella. Toinen vaarallinen tilanne on liian pehmeän eristimen valinta laitteelle varsinkin jos eristimen korkeus on suuri. Tällaisen ylikriittisen tilanteen huomiotta jättäminen voi aiheuttaa laitteen yhden kulman painumisen kiihtyvällä nopeudella, mikä taas saa aikaan laitteen kaatumisen tai vierimisen riskin. Eristystyön tekijä tarkistaa itse työnsä, joten työn laadun merkitys korostuu.

10.3 Eristystyön suorittaminen

Vaimennustyön ensimmäinen vaihe on yhteydenotto laitteesta vastaavaan, mikä voi olla välillä haastavaa. Esimerkiksi konesalissa sijaitsevan räkin vastuhenkilö voi olla tilan, laitteen tai laitteen sisältämän datan omistaja tai laitetta vuokraava henkilö. Jos päädytään laitteen passiivieristykseen, seuraavaksi selvitetään laitetilän turvallisuusmääräykset. Hyvin usein vaaditaan turvaselvitys kaikilta tilassa käyviltä henkilöiltä.

Alustavien töiden, vaimennuslaskelman ja tärinäeristyksen suunnittelun jälkeen alkaa varsinainen eristystyö. Ennen aloitusta on hyvä käydä vielä läpi eristettävät laitteet ja

niiden mallit yhdessä laitteista vastaavan kanssa. Tässä ohjeessa kuvaillaan pääasiassa palvelinkaapin eristystyön suoritusta.

Ennen varsinaisten nostojen aloitusta tulee:

- tarkistaa mahdolliset yhteen pultauukset ja johdotukset
- kiinnittää erityistä huomiota valo- ja kuitukaapeleihin
- jättää kireiden kaapeleiden ym. siirrot konesalin vastuulle.

Palvelinkaapit ovat usein ovellisia eikä niitä saa avata ilman vastuuhenkilön lupaa. Joissain kaappimalleissa ovet on varustettu turvamekanismilla, joka kytkeytyy päälle avatessa. Tällaisia ovat esimerkiksi laitteet, jossa on nauha-asemia tai liikkuvia robotteja. Turvamekanismin kytkeytyessä se sammuttaa laitteen tai antaa hälytyksen.

Eristystyön nostovaihe voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla:

- Kallistelemalla laitetta
- nostamalla koko laite kerralla
- asentamalla eristin jalka kerrallaan.

Yleisimmin käytetty on laitteen kallistelu. Ensisijaisesti se tehdään hydraulisilla nostimilla, mutta myös pitkävartisia ja pyörällisiä kankia voidaan käyttää. Hydraulisia nostimia tulisi suosia eristystyössä ja välttää kankien käyttöä. Kangen pitkä varsi voi osua muihin laitteisiin tai johdotuksiin, kun taas lyhyellä varrella ei saada riittävän tasapainoista nostoa. Tarpeettomat metalliset äänet työvälaineistä eivät anna vakuuttavaa kuvaa eristystyön laadusta. Kevyitä kohteita voi nostaa kulmarauodoilla tai käsin kuitenkin erityistä varovaisuutta noudattaen. Toinen tapa on nostaa laite hydraulisilla pumpuilla kaikista kulmista yhtäaikaisesti.

Kolmas tapa on asentaa eristin jalka kerrallaan, jolloin laite pysyy lähes liikkumattomana koko vaimennustoimenpiteen ajan. Viimeiseksi mainittu on työtavoista hitain, mutta turvallisim ja yleensä käytössä vain erikoiskohteissa, kuten nauha-asemien eristystöissä. Tällaisessa tapauksessa yhtä kulmaa vain tuetaan, jonka jälkeen kierretään seisontajalat eristeen paksuuden verran sisäänpäin. Eriste asennetaan ja kiristetään jalka tukevasti sitä vasten. Erityinen huomionarvoinen seikka eristämistyön suorituksessa on se, että laitteet ovat yleensä käynnissä koko eristystyön ajan.

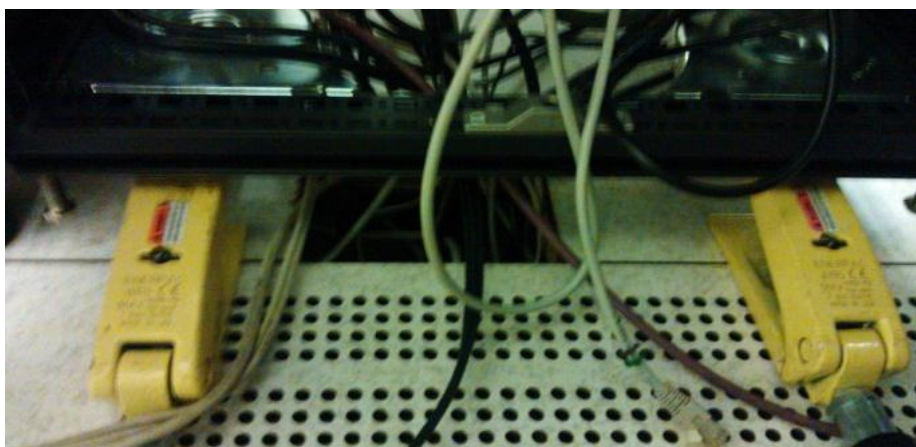
Kallistusmenetelmää käytettäessä:

- kallistuksen aikana laitteen kuormitettujen osien alle asetetaan värinäeristimet
- varmistetaan, että laite ei luiskahda nostolaitteesta tai jo asennettujen eristimien päältä

Nostokaluston ja nostokohdan valinta:

- Laitteen rakenne, paino ja runkotyyppi vaikuttavat nostokaluston käyttömahdollisuuksiin.
- Laitteesta vastaavalta pitää varmistaa laitteen nostotoimenpiteen kestävyys.
- Lattian malli, materiaali ja kunto on myös hyvin tärkeä huomioida nostotyötä tehdessä.
- Tiloissa joissa on korotettu laatoista tehty lattia, nosto pitää pyrkiä suorittamaan neljän laatan risteyskohdasta.
- Tuuletusritilöiden tai leikattujen laattojen päältä nostoa ei saa suorittaa.

Konesalit on usein tehty korotetun, laatoista rakennetun lattian päälle mahdollistaen salin ja laitteen tehokkaan tuuletuksen. Laattojen alla niiden risteyskohdassa sijaitsee lattiaa kannatteleva tukipilari. Kuvassa 39 havainnollistettujen tuuletusritilöiden ja leikattujen laattojen päältä nostamista tulee välttää kaikessa nostamisessa. Leikatut laatat murtuvat helposti noston yhteydessä. Pienikin leikkaus saattaa alentaa laatan kantavuutta merkittävästi. Mikäli vaihtoehtoja nostokohtaa ei ole mahdollista käyttää, tulee joko nostaa riittävän monesta pisteestä tai jakaa kuorma tasaisesti suuremmalle alalle esimerkiksi metallilevyn avulla.



KUVA 39. Kahdella hydraulisella nostimella tehty palvelinkaapin kallistus, joka on korotetun lattian päällä. Vasemmanpuolimmainen nostin on laattojen risteyskohdassa.

Itse räkissä voi olla myös irtonaisia tai kiskolla varustettuja osia, jotka kallistaessa liukuvat pois paikaltaan. Kaikki laitteet, kuten levypalvelimet, eivät kestä kallistelua lainkaan. Levypalvelimen läpi kulkevalle, koko laitetta yhdistävälle, pitkälle kiskolle on yleensä asetettu nollatoleranssi kiertymiselle ja siirtymiselle. Laboratorio laitteissa on myös usein useampia laitteita yhdistäviä osia, kuten ohuita lasiputkia, jotka rikkoutuvat hyvin herkästi käytettäessä yleisiä vaimennusmenetelmiä.

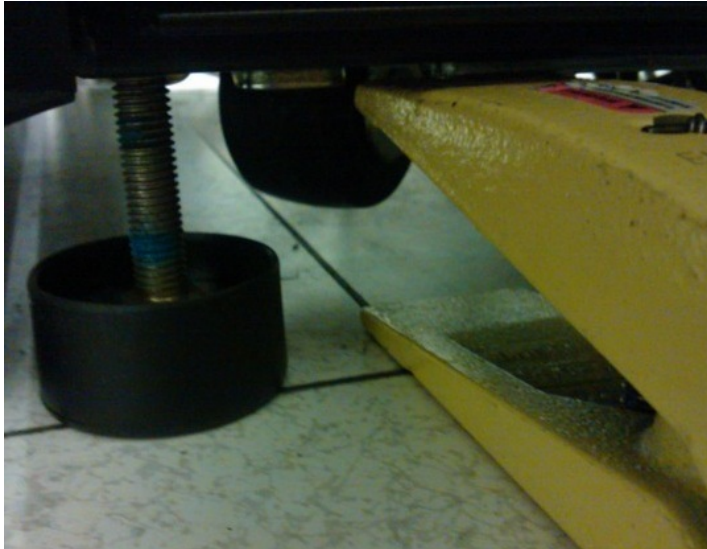
Eristemateriaalin jäykkyyden valinta:

- Laitteen massa punnitaan ja tiedetään teoriassa, mutta ei käytännössä.
- Massan likimääräinen arviointi on eduksi eristystyölle ja siinä onnistumiselle.
- Valmistajien taulukoista nähdään eristeille sallitut kuormat.
- Massa arvioidaan ja laitteelle asetetaan oletusarvoinen vaimennus.
- Eristemateriaalin käyttäytymisestä saadaan suuntaa-antavia tietoja.
- Eristeen painuman tulee olla noin 10 % sen kokonaispaksuudesta.
- Eriste painuu liikaa → kuorma tiettyä numeerista arvoa suurempi → tilalle jäykempi eriste ja päinvastoin.

Kuormituksen arvioinnin lisäksi vähintään yhtä tärkeä osa on massakeskipisteen arviointi. Tässä auttaa esimerkiksi, palvelinkaapin ollessa kyseessä, täyttöasteen miettiminen. Täyttöasteella tarkoitetaan kuinka moneen kerrokseen komponentteja on asennettu. Nyrkkisääntönä voidaan pitää massakeskipisteen sijaitsevan noin 1/3 alhaalta katsottuna, koska täyttö aloitetaan yleensä alhaalta ja varavirta-akut ovat aina asennettuna laitteen pohjalle.

Ensisijaisesti vaimennus tulee tehdä jalkojen alle, mutta jotkut laitteet ovat siirtoa varten tarkoitettujen pyörien varassa. Tällöinkin niissä on yleensä asennettuna lisäksi seisontajalat, jotka ovat kierrettävissä eristyksen kannalta sopivalle korkeudelle. Mikäli näin ei ole, vaihtoehtoinen eristys tehdään laitteen rungon alle. Pyörille vaimentamista tulisi välttää, mikäli se on kustannustehokkaasti mahdollista.

Joissakin tapauksissa laitteen jalan halkaisija voi olla hyvin pieni aiheuttaen pistemäisen kuorman alustalleen (Kuvat 39 ja 40). Kuvassa 40 on pyörillään seisonut palvelinkaappi, jonka seisontajalka on kierrettävä, pistemäisen kuorman aiheuttava pultti.



KUVA 40. Muovikupin sisään asennettu tärinäeristin ja metallilevy.

Pistemäisen kuorman voi jakaa tasaisesti vaimennusmateriaalille esimerkiksi paksulla vanerilevyllä tai metallilevyllä. Käytettävissä olevat vaihtoehdot ovat aina tapauskohtaisia ja joissakin kohteissa esimerkiksi puun käyttö on kielletty, sillä se aiheuttaa palo-kuormaa tilaan. Laitteessa tai tilassa olevat magneetit yms. voivat puolestaan estää metallin käytön vaimentimissa. Puun riittävä vahvuus on noin 20 mm kestääkseen laitteen kuorman halkeamatta, joten se nostaa tarpeettomasti nostokorkeutta. Metallilevyillä vastaava korkeus on noin 2 mm ja etuja niissä on halkaisijaltaan 8–10 mm reikä, jonka avulla laitteen jalka asettuu keskelle metallilevyä helpottaen kuorman keskittämistä. Tällöin jalka ei myöskään pääse luiskahtamaan pois levyn päältä.

Pyörille eristämisen ongelmia ja riskejä:

- Aiheuttaa pistemäisen kuorman eristimelle, jolloin on tarve käyttää kuormaa jakavaa materiaalia välissä.
- Vierimisvaaran vuoksi jakavassa materiaalissa on pakko olla ura, joka lukitsee pyörän paikoilleen.
- Materiaali on yleensä oltava puuta joten nostokorkeus ja kallistuskulma kasvavat.
- Paino on usein silti epätasaisesti jakautunut ja sen keskittäminen eristimelle on haastavaa.
- Pyörän välittämä massa ei ole myöskään kohtisuorassa linjassa eristeen pintaan nähden aiheuttaen pyörään momenttia.

10.3 Työturvallisuus

Tärinäeristystyössä toimitaan välillä hyvinkin raskaiden, jopa 1 000 kg painavien laitteiden kanssa. Aina kun laitetta nostetaan tai kallistetaan, on olemassa vaara vakavallekin vahingolle. Laitteesta ja laitetilasta ennalta kerätyt tiedot ovat avainasemassa kun puhutaan työturvallisuudesta eristämistyössä. Henkilö- ja laitevahingot ovat kuitenkin mahdollisia, vaikka suunnitelmat olisi tehty huolellisesti. Vaarallimmat seikat ovat edellisessä kappaleessa mainittuja asioita silloin kun niitä ei tiedosteta tai huomata. Herkkiin laitteisiin liittyy yleensä sähkövirta, joten sähköiskun vaara on olemassa. Oman kokemuksen perusteella myös työmaajärjestys on hyvin tärkeä osa työturvallisuutta. Esimerkkitapauksessa rullakanki aiheutti kaatuessaan vaimennustyötä tekevän jalan murtumisen. Työkalujen ja vaimennusmateriaalien huolimattomasta sijoittelusta voi seurata myös kompastumisia, jotka aiheuttavat vaaratilanteita.

Tärkeä suojausmenetelmä on työn aikana suoritettava noston varmistus kiilaamalla noston vastakkaiselta puolelta, joka on suositeltavaa tehdä kaikille raskaille tai korkeille laitteille. Nostokorkeuden tai kallistuskulman ollessa suuri, kiilaus on välttämätön toimenpide, jotta vältetään mahdollisilta luiskahtamisilta. Laitteiden päällä olevien putoavien ja liukuvien esineiden tai osien tunnistaminen on yksi avaintekijöistä turvalliseen työskentelyyn.

Eristystyö suoritetaan suurempien laitteiden osalta vähintään pareittain. Pienien laitteiden vaimennustyöt on mahdollista tehdä turvallisesti yksinkin. Työryhmästä toinen suorittaa laitteen kallistelun ja toinen varmistaa. Hydraulisella nostimella nostettaessa tärinäeristeen asennuksen voi tehdä kumpikin. Mikäli kallistelu suoritetaan kangella, varmistaja asentaa eristimet. Joskus vakaaseen kallistukseen tarvitaan kaksi tai useampi nostoväline, jolloin työryhmään tarvitaan kolmas henkilö asettamaan eristeet paikoilleen. Henkilö toimii myös lisävarmistajana kiilaamalla laitteen. Kallistelun koko keston ajan tulee tarkkailla mahdollisia pingottavia johtoja tai rakenteellisia muodonmuutoksia. Työ on useimmiten fyysistä ja varsinkin konesalit ovat vuorottain kuumia ja viileitä, joten vilustumisriski on olemassa.

Työturvallisuus voidaan tiivistää seuraaviin huomioitaviin seikkoihin:

- Mahdollisimman täydelliset esitiedot nostokohteesta
- nostokaluston pitää olla kunnossa
- nostopaikan valinta ja lattian kunnan tarkistus
- olosuhteisiin sopivan eristemateriaalin valitseminen
- luiskahtamisen estäminen
- työmaa pidettävä järjestyksessä.

10.4 Optimaalinen ja onnistunut eristystyö

Kustannustehokas vaimennustyö perustuu perusteelliseen etukäteissuunnitteluun. Esi- valmisteluilla saadut täsmälliset tiedot työkohteessa vallitsevista olosuhteista mahdollistavat vaimennusmateriaalien optimaalisen käytön, jolloin materiaalimenekki on tavoiteltuun vaimennustasoon nähden pienin mahdollinen. Kohteesta ja laitteesta kerättyjen tietojen avulla myös vältetään tarpeettomilta eristyksen uudelleen suorittamisilta. Huomattavan paljon ylimääräistä työaika kuluu odottamattomien esteiden sattuessa kohdalle. Työryhmän koko on yksi olennainen asia kun tavoitellaan optimaalista vaimennustyötä.

Rauhallisella ja suunnitelman mukaisella vaimennustyöllä saavutetaan helpommin optimaalinen työtahti ja – tulos. Pienellä kiirehtimisellä voidaan aiheuttaa paitsi henkilö- vahinkoja, myös vahinkoja vaimennettavalle laitteelle. Toiminnan tai käytön häiriintymisestä voi aiheutua mittavia rahallisia vahinkoja, laitteen rakenteen tai sen sisältämän tiedon vahingoituessa. Palvelimille tallennetut tiedostot voivat olla mittaamattoman arvokkaita. Tärinäeristämisen tavoitteena on, että louhintatyö voitaisiin suorittaa rakennuksen raja-arvoilla eikä erityisiä louhintatyötä merkittävästi rajoittavia asioita olisi.

11 TULOSTEN TARKASTELU

11.1 Johtopäätökset

Louhintaräjätystä syntyy pääasiassa kolmenlaisia värinäaalloja, jotka aiheuttavat riskin rakenteille ja herkille laitteille. Nopeimmin liikkuvat puristusaallot laajenevat pallomaisesti ympäristöön aiheuttaen haitarimaista liikettä maaperässä ja rakenteissa. Leikkausaallot leviävät ympäristöön repien maata vaaka- tai pystysuunnassa eri suuntiin. Kolmas värätystä aiheutuva aaltomuoto on maanpinnalla sylinterimäisesti etenevä Rayleigh-aalto, joka syntyy runkoaallon kohdatessa maan pinnan. Värinäaallot etenevät ja vaimenevat eri tavoin maaperästä sekä olosuhteista riippuen. Käytännöllisin tapa saada nämä tiedot ja hyödyntää niitä louhintatyössä ovat värinämittaukset. Mittaustulosten perusteella tehdyllä louhintatyön optimoinnilla säästetään sekä kustannuksia että pienennetään ympäristölle aiheutettavaa riskiä. Ensimmäinen värätys toimii käytännössä aina koerärätystenä, jonka jälkeinen louhinnan varovainen aloitus pienentää riskiä entisestään.

Louhinnan suunnittelussa käytetään yleisesti Rakennusinsinööriunionin antamia ohje- ja rakennuksille ja herkille laitteille. Raja-arvoja asettaessa voidaan olosuhteista riippuen soveltaa myös muiden maiden standardeja ja normeja, jolloin suunnittelijalta vaaditaan riittävät värinäasiantuntijan pätevyudet. Näitä ovat esimerkiksi RIL:n myöntämät A- ja AA-pätevyudet sekä FISEn pätevyysluettelo. Herkille laitteille asetetut ohje- ja raja-arvot ovat nykyään edelleen erittäin tiukat, ja niiden nostamista onkin ehdotettu muutamissa tutkimuksissa ja pohdinnoissa. Laitevalmistajan ilmoittama arvo on lähes aina hyvin yksiselitteinen, eikä sitä ole juurikaan perusteltu. Värätysten aiheuttaman värinäaalto on kuitenkin hyvin monimutkainen, eivätkä siitä seuraavat kiihtyvyyden arvot ole aina vaarallisimpia laitteen vaurioitumiselle. Värinämittaustuloksista saatuihin aallon muuttujiin sekä laitteen ominaisuuksiin perustuen asiantuntija voi asettaa olemassa olevista ohje- ja raja-arvoista poikkeavat raja-arvot.

Suurin osa laitevalmistajista on tutkinut laitteidensa kuljetuksen aikaista värinänsietoa, mutta vain erittäin harva on tutkinut sitä laitteen ollessa käynnissä. Lähtökohtaisesti laitetta oletetaan käytettävän stabiileissa olosuhteissa. Herkkien laitteiden altistuminen louhintavärinälle on kuitenkin niiden määrään verrattuna laitevalmistajan näkökulmasta

harvinainen tilanne, vaikka louhinta asutuskeskuksien läheisyydessä yleistyy jatkuvasti. Raja-arvojen korottamisen tulisi lähteä laitevalmistajien taholta tai perustua hyvin mitattavaan tutkimukseen, jonka perusteella voitaisiin luoda uusi ohjearvo nykypäivän laitteille. Ongelmaksi muodostuvat laitevalmistajille tutkimuksista aiheutuvat kustannukset erikoislaatuista tilannetta varten sekä uusien laitteiden hyvin nopea kehittäminen. Laitteiden ja materiaalien hinnat ovat alentuneet, joten perimmäinen ongelma ei ole itse laitteen vaurioituminen vaan siitä aiheutunut käyttökatko tai korvaamattomien tietojen häviäminen.

Tutkimuksessa käytössä ollut palvelin oli koko mittausjakson ajan käynnissä viiden erikäisen mekaanisen kovalevyn ollessa jatkuvassa luku- ja kirjoitustilassa. Kaikki louhinnasta aiheutuneet laitteeseen kohdistuneet iskut ylittivät IBM:n tietokoneille asettaman raja-arvon 0,25 g, joista suurin ylitys oli kaksinkertainen. Palvelinta koekäytettiin louhintojen päättymisen jälkeen noin kuukauden ajan, eikä havaittavissa ollut toimintahäiriöitä tai tietojen häviämistä. Tutkijat ovat ehdottaneet laitteisiin kohdistuvan tärinän raja-arvon nostamista vähintään kaksinkertaiseksi, mikä olisi tässä työssä tehtyjen alustavien tutkimuksien mukaan perusteltavissa. Osa kovalevyjen vaurioitumisesta johtuvista toimintahäiriöistä voi ilmetä vasta suhteellisen pitkän ajan kuluttua, kun isku on ensin aiheuttanut naarmun pyörivän levyn pintaan. Tällaisessa vahinkotapauksessa syyhteyden osoittaminen on hyvin vaikeaa, minkä takia koekäytön aika rajoitettiin kuukauteen. Vaurioitumisen yhteydessä arvioidaan sitä todennäköisyyttä millä vaurion on aiheuttanut louhintatärinä.

Testi suoritettiin Cramo Oy kiinteistössä noin 120–170 metrin etäisyydellä louhintatyömaasta. Kiinteistössä betonilattialle rakennettu, louhintatärinältä eristämätön mittauspiste MP2 toimi tutkimuksessa referenssikohteena, johon kohdistuivat samat tärinän pystykomponentin kiihtyvyyden arvot kuin käynnissä olleeseen palvelimeen. Saatu tulos toi esiin itse laitetelineessä tärinän vahvistumisen, joka oli ennakoitua huomattavasti voimakkaampaa. Resonanssin vaikutusta tuloksiin pyrittiin ehkäisemään ennalta valitsemalla testitelineisiin sopivat materiaalit ja jättämällä vertailutelineiden korkeus matalaksi. Tästä huolimatta tietokoneille asetetut raja-arvot ylittyivät referenssitelineessä resonanssin seurauksena yli viisinkertaisesti. Käytännön tilanteessa laitteen ominaistajuuteen vaikuttavat olennaisesti sen rakenne, materiaalit ja niiden vahvuudet. Myös muilta työmailta saaduissa tuloksissa oli havaittavissa samankaltaisia resonanssin aiheuttamia louhintatärinän voimistumista itse laiterakenteessa.

Riskianalyysissä yleensä määritellään värinä mitattavaksi laitteen vierestä lattialta siten, että työmaakohtaiset raja-arvot koskevat laitteeseen kohdistuvan värinän arvoja. Esimerkiksi palvelinkaapeissa on kuitenkin eri kerroksissa useita laitteita, joista jokaiselle yleiset standardit ovat asettaneet ohjearvon 0,25 g. Tässä työssä käytetyt menetelmät eivät mahdollistaneet kerroksissa voimistumisen tarkastelua, ja se vaatisikin lisätutkimuksia. On tulkinnanvaraista, koskevatko raja-arvot laitekokonaisuuteen vai eri komponentteihin kohdistuvaa värinää. Palvelinkaapeissa itse laitteen värinä saattaa olla resonanssin seurauksena huomattavan suurta, vaikka siihen kohdistuva värinä ei ylittäisikään raja-arvoa. Raja-arvo määritellään laitteen heikoimman komponentin mukaan.

Tutkimuksessa tulivat ilmi eri näkökannat mittauspaikan valinnasta, kun mitataan värinäherkkään laitteeseen kohdistuvaa värinää. Mitattaessa värinää laitteen metallisesta rungosta sen luonne muuttuu resonanssin seurauksena, jolloin mitattavaa tulosta ei voida enää tulkita siihen kohdistuneeksi. Toisaalta lattiasta mitattaessa lattiarakenteella on vaikutuksensa tuloksiin. Lisäksi värinäessä tapahtuu muutoksia lattian ja laitteen jalkojen rajapinnassa. Tärkeintä olisi käyttää yhtenevää menetelmää, jotta mittaustulokset olisivat keskenään vertailukelpoisia. Mittauspaikan valinta vaatii lisää tutkimuksia. Selkeyden vuoksi suositellaan mittauksia laitteen välittömästä läheisyydestä lattiasta, josta värinä välittyy laitteeseen. Värinän mittaus laitteesta on perusteltua, mikäli halutaan tuloksia värinäeristykseen toimivuudesta. Tällöin on syytä mitata värinää sekä lattiasta että laitteesta itsestään.

Laitteiden eristys louhintavärinältä moderneilla värinäeristimillä on osoittautunut erittäin varmaksi ja kustannustehokkaaksi tavaksi turvata laitteen häiriintymätön käyttö koko louhintatyömaan ajan. Värinäeristys on yleensä louhintatyön suorittajan kannalta panostuksen vähentämistä edullisempi vaihtoehto. Sylomereja on käytetty eristykseen paljon jo muutamia vuosia, ja niistä saatujen tulosten perusteella ne ovat osoittautuneet toimiviksi. Sylomerien teoreettiset laskenta-arvot ja ominaisuuksien kehitys perustuvat osittain näihin mittaustuloksiin, mikä antaa viitteitä vieläkin tarkemmin määritellyistä ja tehokkaammista eristeistä. Perinteisiä värinäeristimiä on ollut käytössä jo vuosikymmeniä, ja ne myös toimivat edelleen tietyissä olosuhteissa. Louhintavärinän eristykseen sopimattomalla tai väärin mitoitettulla materiaalilla voidaan kuitenkin aiheuttaa itse louhintavärinää suurempi riski laitteen vaurioitumiselle. Tutkimuksessa esimerkiksi osoitettiin, kuinka kumieristeillä toteutettu virheellinen eristys aiheuttaa laitteelle haittaa tietyissä olosuhteissa.

11.2 Sylodynin soveltuvuus

Sylodyn on värinäeristykseen tarkoitettu materiaali, sertifioitu, hyvin ohjeistettu ja tarkkaan määritelty. Mittauksissa käytettiin eristeen kuormitukseen pientä 32,5 kg massaa käytännön syistä, mutta se on suoraan verrannollinen suurempiin kuormituksiin. Mittausten virhemarginaali koostuu punnituksessa käytetyn vaa'an mittatarkkuudesta. Tutkimuksessa vallitsevissa olosuhteissa näin pienellä eristeeseen kohdistuvan kuorman muutoksella ei ole juurikaan merkitystä. Tutkimuksen tekeminen aloitettiin sillä oletuksella, että sylomerit eivät toimi värinäeristeenä värinän taajuuden ollessa alle 40 Hz. Mittaustulosten perusteella voidaan todeta 12,5 mm korkean Sylodynin eristävän laitteeseen kohdistuvaa värinää vähintään 33 % kiihtyvyyden huippuarvosta, aallon taajuuden ollessa niinkin alhainen kuin 18 Hz. Saavutettua eristyssuhdetta voidaan pitää kohtuullisen heikkona, mutta kuitenkin ennako-odotuksia huomattavasti parempana. Mikäli tarkastellaan eristämättömässä referenssimittapisteessä MP2 tapahtunutta värinän voimistumista ja verrataan sitä Sylodynilla eristettyyn laitteeseen, saadaan eristyssuhdeeksi 64–86 %.

Tiiviimmän umpisolurakenteen ansiosta saavutetaan pienemmällä Sylodynin materiaalmäärällä matalillakin taajuuksilla lähes yhtä hyvä eristyssuhde kuin korkeammilla Sylomer-rakenteilla. Värinäeristeen pienellä korkeudella on monia suoraan ja välillisesti saatuja etuja. Tärkeimpänä voidaan pitää eristystyössä tapahtuvan laitteen noston aiheuttamien riskien pienenemistä. Näitä seikkoja ovat pienemmät kallistuskulmat, jolloin laitteen luiskahtaminen tai kaatuminen on epätodennäköisempää. Pingottaviin johdotuksiin tai kiinteästi laitteisiin asennettuihin kaatumissuojiiin ei kohdistu suurta räsitusta, mikä myös helpottaa työtä ja tekee siitä turvallisempaa.

Palvelinkaapit tuuletetaan useasti puhaltamalla lattiasta ilmaa laitteen läpi. Tuuletuksen tehokkuus pienenee laitetta nostettaessa, ja tapauskohtaisesti muutos voi olla hyvinkin nopea. On esimerkkejä, joissa lattian ja laitteen välinen sauma on jopa tiivistetty. Tuuletuksen heikentyminen saattaa johtaa laitteen ylikuumentumiseen, jolloin joko turvamekanismit sammuttavat sen tai laitteeseen aiheutuu vaurioita.

Matalan korkeuden ja pienemmän vaadittavan pinta-alan johdosta Sylodyn mahtuu erittäin ahtaisiin paikkoihin. Tällöin vältetään laitteen turhalta siirtelyltä tai kallistelulta, mikä säästää työaikaa. Pienemmän materiaalimenekin ansiosta myös kaluston siirtämi-

nen työkohteeseen on helpompaa. Sylodyn-materiaalista valmistettu tärinäeriste on esityöstetty vesileikkauksella, joten eristystyön tekijälle ei aiheudu valmistus- tai muokauskuluja. Eristeellä on siten myös viimeistelty ja edustava ulkomuoto.

Materiaalin ominaisuudet mahdollistavat erittäin laajan käyttötaajuusalueen verrattuna perinteisiin tärinäeristin materiaaleihin. Louhintatärinän korkeat aallot suodattuvat kokonaan ja vähintään 18 Hz:iin asti ne vaimenevat noin 33 %. Sylodynista on saatavilla useita eri tiheyksillä valmistettuja tärinäeristeitä, joista jokaisella on oma laaja käyttötaajuusalueensa ja kuormankantavuuslukunsa. Materiaalikohtaisiin ominaisuuksiin voidaan lisäksi vaikuttaa jakamalla eristeeseen kohdistuva kuorma halutulle pinta-alalle. Maaperästä ja rakenteista saatujen tietojen poiketessa ennakkotiedoista niistä johtuvat arvaamattomat tärinäaaltojen muuttujat saattavat johtaa eristykseen uusimiseen, mutta Sylodynin ominaisuuksien ansiosta riski tälle on huomattavasti pienempi.

Laajan käyttötaajuusalueen eduksi voidaan lukea myös tunnelilouhinnassa tapahtuvan, jatkuvan etäisyyden muutoksen vaikutuksen minimointi tärinäeristykseen toimivuuteen. Perinteisillä tärinäeristemillä eristys joudutaan mitoittamaan etäisyyden keskiarvolla, jolloin tutkimuksessa esiintyneet matalat taajuudet voivat aiheuttaa ongelmia tunnelilouhinnan ollessa vielä etäällä tai sen etääntyessä. Joissain tapauksissa eristys saatetaan joutua uusimaan tämän vuoksi kesken työmaan.

Laajan käyttötaajuusalueen vuoksi riski virheellisesti suoritetusta eristystyöstä on pienempi. Työtä helpottaa myös helposti havaittavissa oleva, valmistajan ohjeen mukainen, eristeen paksuuden 10 %:n painuma kuormituksessa. Tämän vuoksi myös tilanteen vaatimat mahdolliset sekavaimennukset, joissa käytetään yhden kuormittavan osan alla eri Sylodyn-malleja, onnistuvat helpommin. Ylikriittistä yli 10 %:n painumaa voidaan kuitenkin hyödyntää materiaalin pitkän kuoleentumisajan vuoksi, mikäli työmaan kesto on tiedossa. Suunnitellulla ylikriittisellä eristyksellä voidaan esimerkiksi vaimentaa juuri tunnelilouhinnan vaikutusalueella olevat herkäät laitteet, jolloin etäältä saapuvat aallon matalat taajuudet vaimenevat paremmin, lähialueen korkeiden taajuuksien myös suodatessa kohtuullisesti. Materiaalia ei tarvitse poistaa louhintatyön päätyttyä, sillä se kestävää käytännössä pidempään verrattuna laitteiden yleiseen elinkaareen.

Eristystyön suunnitteluun ja suoritukseen kuluva aika on helpompi optimoida aikaisemmin mainittujen seikkojen sekä valmistajan tarjoaman laskentaohjelman vuoksi.

Eristeestä saatavien kattavien teoreettisten tietojen avulla päästään käytännössäkin ammattitaitoisella suorituksella hyvin lähelle täydellistä vaimennussuhdetta. Ammattitaitoinen eristystyöntekijä hankkii riittävät esitiedot ja käyttää niitä hyväksi sekä suorittaa työn turvallisesti ja riskittömästi.

12 YHTEENVETO

Mitattava kohde osoittautui työn tavoitteiden kannalta hyväksi ja tuloksena saatiin edustavia mittaustuloksia. Tulosten perusteella myös matalien värinäaallon taajuuksien eristäminen on mahdollista Sylodyn eristemateriaalilla. Eristyssuhteet osoittautuivat hyviksi ja teoriassa laskettuja eristyssuhteita paremmiksi. Työssä mitattiin sekä laitteeseen kohdistuvaa värinää että laiterakenteen värinää. Resonanssin aiheuttamat värinän voimistumiset laiterakenteessa olivat ennakoitua merkittävämpi tekijä ja näiden tulosten mukaan matalien taajuuksien eristäminen on myös perusteltua. Mittauspisteen sijainti vaikuttaa oleellisesti värinämittaustuloksiin eikä sitä ole yleensä selkeästi määritelty. Ainoa keino saada vertailukelpoisia mittaustuloksia on yhtenäistää mittaustavat.

Yleinen kiihtyvyyden raja-arvo 0,25 g rajoittaa louhintatyötä niin paljon, että sen kustannustehokas suorittaminen vaatii käytännössä kaikkien värinäherkkien laitteiden eristämisen. Värinäeristys on yleensä louhintatyön suorittajan kannalta panostuksen vähentämistä edullisempi vaihtoehto. Raja-arvot herkille laitteille perustuvat edelleen lähes 30 vuotta vanhoihin ohjearvoihin. Alustavassa tutkimuksessa osoitettiin levymuistiyksiköiden kestävän vähintään 0,5 g kiihtyvyyden arvoja ja tätä tukee myös muista tutkimuksista saadut tulokset.

Sylodynin suurin etu värinäeristeenä on sen pieni rakennekorkeus. Lisäksi se on värinäeristykseen tarkoitettu materiaali, sertifioitu, hyvin ohjeistettu ja tarkkaan määritelty. Lattiasta laitteeseen välittyvää matalataajuista värinää Sylodyn eristää normaalista poikkeavassa kohteessa vähintään 33 % ja laiterakenteen värinää jopa 85 %. Normaaliolosuhteissa päästään yli 90 % eristyssuhteisiin ja lähietäisyyksien korkeat taajuudet materiaali eristää tehokkaasti. Laajan käyttötaajuusalueen vuoksi eristys onnistuu muihin eristemateriaaleihin verrattuna varmemmin ja nopeammin. Eristystyöhön vaaditaan kuitenkin aina ammattitaitoinen värinäasiantuntija.

VIITELUETTELO

- Aatos, S. 2003. Luonnonkivituotannon elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. Suomen ympäristö 656. Ympäristöministeriö. Helsinki: Edita Prima Oy
- Amick H., Gendreau M. 2000. Construction Vibrations and Their Impact on Vibration-Sensitive Facilities. ASCE Construction Congress 6 22.2.2000. Orlando.
- DIN 4150. Erschütterungen im Bauwesen: Einwirkungen auf bauliche Anlagen. Deutsche Norm DIN 4150 Teil 3.
- Ferry, J. 1980. Viscoelastic Properties of Polymers 3rd edition. Library of Congress Cataloging in Publication Data. Canada.
- Findley, W. 1989. Creep and relaxation of nonlinear viscoelastic materials. Canada: General Publishing Company Ltd.
- Fourier Series. Luettu 20.2.2012. mathworld.wolfram.com/FourierSeries.html.
- Gustafsson, R. 1981. Blasting Technique. Vienna: Dynamit Nobel Wien.
- Hurmalainen, E. 2001. Louhintaräjätystärinän vaikutukset herkkiin laitteisiin. Espoon teknillinen korkeakoulu. Diplomityö.
- Hurmalainen, E. Diplomi-insinööri. 2012. Haastattelu 4.4.2012, litteroitu. Haastattelija Sinervo, V. Helsinki.
- IBM e-kirjasto. 2011. Tietokoneiden ja herkkien laitteiden tärinän ja iskunkestävyyden ohjeavot. 10.11.2011, Luettu 2.3.2012. pic.dhe.ibm.com/infocenter/powersys/v3r1m5/index.jsp?topic=/p7ebe/p7ebevibrationandshock.htm
- InfraRYL 2010/1, 21.5.2010 17610.6.3. Laitteiden vaimennukset.
- Korkeimman oikeuden päätökset KKO 1957 II 10, KKO 1963 II 93.
- Langefors, U., Kihlström, B. 1978. The Modern Technique of Rock Blasting 3rd edition. New York: Wiley
- Larson, S. 1988. Applied Explosives Technology for Construction and Mining. Applex, Sweden
- Lee E., Lubarda V. 1981. Journal of Applied Mechanics vol 48. A Correct Definition of Elastic and Plastic Deformation and Its Computational Significance.
- Lehto, H., Luoma, T. 1994. Fysiikka 2: Fysiikka yhteiskunnassa, Aaltoliike, uudistettu painos 5.-9, Kirjayhtymä Oy
- Li, J., Wang, M., Wang, D. 2010. Evaluation standard for underground blast induced seismic effect. University of Science & Technology. Nanjing China.

- Lusk B., Worsley P., Oakes K., Chambers J., Crabtree S., Wheeler R. 2009. Destructive Wave Interface in Underground Blasting Utilizing Precise Timing, 2006G Volume 1. ISEE.
- Nevalainen P., Honkanen J., Sainio P. & Christersson J. 2009. Rakentajain kalenteri 2010, 94. vuosikerta. Rakennusmestarit ja – insinöörit AMK RKL ry, Rakennustietosäätiö RTS. Rakennustieto Oy, 443–449.
- Norsk Standard. 1993. Vibrasjoner og stöt i byggverk. Veiledende grenseverdier for sprengningsinduserte vibrasjoner NS 8141. Oslo: Norske Byggstandardiseringsråd, NSF.
- Rakentamisen aiheuttamat tärinät – projekti. Taustaselvitykset. 2009. TTY Tampereen teknillinen yliopisto, maa- ja pohjarakenteet.
- Richart, F.E., Hall, J.R., Woods, R.D. 1970. Vibrations of Soils and Foundations. International Series in Theoretical and Applied Mechanics. Prentice Hall. New Jersey.
- RIL 253-2010. 2010. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Sainio, P. 1988. Tärinävaurioiden minimointi asutuskeskuslouhinnassa. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Lisensiaatintyö.
- Sainio, J. Yhteiskuntatieteiden maisteri. 2012. Haastattelu 26.1.2012. Haastattelija Sinervo, V, litteroitu. Helsinki.
- Savolainen, T. Tärinän ja iskun vaimennus 133-74 VI.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2010. Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto B3 Pohjarakenteet. Määräykset ja ohjeet luonnos 18.12.2008.
- Svensk Standard SS 460 4866. 1991. Vibration och stöt – Riktvärden för sprängning-sinducerade vibrationer i byggnader. Svenska Elektriska Kommisionen. Stockholm: SIS.
- Sorbothane käyttöopas. 2008. Luettu 5.3.2012. www.sorbothane.com/sorbothane-brochure.php.
- Tuovinen, J. Tärinävaikutukset luentomoniste. 2010. Luettu 20.3.2012.
- Tuovinen, J. Diplomi-insinööri. 2012. Haastattelut 24.1.2012 ja 5.3.2012. Haastattelija Sinervo, V. Helsinki.
- Vahingonkorvauslaki 31.5.1974/412.
- VTT tiedote 2425. 2008. Rakennukseen siirtyvän liiketärinän arviointi.
- Vuolio, R. 1991. Räjätystyöt 3. painos. Suomen Maarakentajien Keskusliitto. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy.
- Vuolio R., Paavola, P. 2008. Rakentamisen aiheuttamista tärinäistä ja niiden huomioonottamisesta workshop 2.6.2008. TKK, materiaalitekniikan laitos. Espoo.

Vuolio, R., Halonen, T. 2010. Räjätystyöt. Suomen Rakennusmedia Oy. Helsinki: Tammerprint Oy.

www.computerteam.fi/tietokoneen-paivitys

www.damtec.com.au

www.getzner.com

www.instantel.com/products/MinimatePlus.aspx

www.pureinfotech.com/2010/08/07/how-to-safely-get-rid-of-your-old-computer-while-protecting-your-data/

www.sigicom.com/Sigicom/infra_monitoring_system.aspx

www.sms-tsunami-warning.com/pages/seismic-waves

www.unisorb.com

LIITTEET

LIITE 1



WD Caviar Black

Specifications	2 TB	2 TB	1.5 TB	1.5 TB	1 TB	1 TB
Model number	WD2002FAEX	WD2001FASS	WD1502FAEX	WD1501FASS	WD1002FAEX	WD1001FALS
Interface	SATA 6 Gb/s	SATA 3 Gb/s	SATA 6 Gb/s	SATA 3 Gb/s	SATA 6 Gb/s	SATA 3 Gb/s
Formatted capacity	2,000,398 MB	2,000,398 MB	1,500,301 MB	1,500,301 MB	1,000,204 MB	1,000,204 MB
User sectors per drive	3,907,029,168	3,907,029,168	2,930,277,168	2,930,277,168	1,953,525,169	1,953,525,169
SATA latching connector	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Form factor	3.5-inch	3.5-inch	3.5-inch	3.5-inch	3.5-inch	3.5-inch
RoHS compliant ²	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Performance						
Data transfer rate (max)						
Buffer to host	6 Gb/s	3 Gb/s	6 Gb/s	3 Gb/s	6 Gb/s	3 Gb/s
Host to/from drive (sustained)	138 MB/s	138 MB/s	138 MB/s	138 MB/s	126 MB/s	126 MB/s
Cache (MB)	64	64	64	64	64	32
Average latency (ms)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
Rotational speed (RPM)	7200	7200	7200	7200	7200	7200
Average drive ready time (sec)	21	21	21	21	11	11
Reliability/Data Integrity						
Load/unload cycles ³	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000
Non-recoverable read errors per bits read	<1 in 10 ¹⁴	<1 in 10 ¹⁴	<1 in 10 ¹⁴	<1 in 10 ¹⁴	<1 in 10 ¹⁴	<1 in 10 ¹⁴
Limited warranty (years) ⁴	5	5	5	5	5	5
Power Management						
Average power requirements (W)						
Read/Write	10.7	10.7	10.7	10.7	6.8	6.8
Idle	8.2	8.2	8.2	8.2	6.1	6.1
Standby	1.3	1.3	1.3	1.3	0.7	0.7
Sleep	1.3	1.3	1.3	1.3	0.7	0.7
Environmental Specifications⁵						
Temperature (°C)						
Operating	0 to 60	0 to 60	0 to 60	0 to 60	0 to 60	0 to 60
Non-operating	-40 to 70	-40 to 70	-40 to 70	-40 to 70	-40 to 70	-40 to 70
Shock (Gs)						
Operating (2 ms, read)	30	30	30	30	30	30
Operating (2 ms, read/write)	65	65	65	65	65	65
Non-operating (2 ms)	300	300	300	300	300	300
Average acoustics (dBA) ⁶						
Idle mode	29	29	29	29	28	28
Performance seek mode	34	34	34	34	33	33
Quiet seek mode	30	30	30	30	29	29
Physical Dimensions						
Height (in./mm, max)	1.028/25.4	1.028/25.4	1.028/25.4	1.028/25.4	1.028/25.4	1.028/25.4
Length (in./mm, max)	5.787/147	5.787/147	5.787/147	5.787/147	5.787/147	5.787/147
Width (in./mm, ± .01 in.)	4/101.6	4/101.6	4/101.6	4/101.6	4/101.6	4/101.6
Weight (lb./kg, ± 10%)	1.66/0.75	1.66/0.75	1.66/0.75	1.66/0.75	1.52/0.69	1.52/0.69

¹As used for storage capacity, one K (kilo) = one million bytes, one M (mega) = one billion bytes, and one T (tera) = one trillion bytes. Total accessible capacity varies depending on operating environment. As used for buffer or cache, one M (mega) = 1,048,576 bytes. As used for transfer rate or interface, one K (kilo) = one thousand bytes per second, one M (mega) = one million bytes per second, and one T (tera) = one billion bytes per second. Effective transfer rates for SATA 3 Gb/s and SATA 6 Gb/s transfer rates calculated according to the Serial ATA specification published by the SATA-IO organization as of the date of this specification sheet. Visit www.sata-io.org for details.

²RoHS hard drive products manufactured and sold worldwide after June 1, 2006, in accordance with Restriction of Hazardous Substances (RoHS) compliance requirements as mandated by the European Union for electrical and electronic products. The RoHS Directive 2002/95/EC of the European Parliament, which is effective in the EU beginning July 1, 2006, aims to protect human health and the environment by restricting the use of certain hazardous substances in new equipment, and consists of restrictions on lead, mercury, cadmium, and other substances.

³Controlled unload at air blend condition.

⁴The term of the limited warranty may vary by region. Visit <http://support.wd.com/warranty> for details.

⁵Non-recoverable errors during operating tests or after non-operating tests.

⁶Sound power level.

4. HERKKIEN LAITTEIDEN TÄRINÄVAIMENNUS JA MUUT SUOJAUSTOIMENPITEET

Louhintakohdetta lähellä olevissa katselmualueen kiinteistöissä sijaitsevat tärinäherkät ATK- ym. laitteet on tärinävaimennettava ennen louhintatyön aloittamista. Laitteet eristetään alusrakenteesta sopivilla kumivaimentimilla tai vastaavilla tarkoitukseen valmistetulla vaimentimilla.

Vaimennustyön suunnittelussa ja suorituksessa on huomioitava seuraavat tekijät:

- eristinkumin valintaperusteena on oltava laitteiden todelliset painot ja kuormitussuhteet eri tukipisteiden osalta,
- eristimen painuman kuormittuna tulee olla materiaalin valmistajan antamien rajojen mukainen,
- mitoitusperusteena on käytettävä myös laitteen alustaan kohdistuvia tärinän amplitudi-, kiihtyvyy- ja ominaistajuusarvoja.

Asianmukaisesti suoritettuna tärinän vaimennustyön on käytännössä todettu alentavan laitteisiin kohdistuvia tärinän kiihtyvyyssarvoja n. 80 – 90% verrattuna alustasta, vaimentimien alapuolelta saatuu arvoon, kun alustasta mitattu tärinän ominaistajuus on ollut yli 90Hz.

Mikäli kovalevyllisiä ATK ym. laitteita ei vaimenneta tai niitä ei voi vaimentaa, suoritetaan louhinta siten, ettei laitteisiin välity raja-arvoa $a = 0,25$ g suurempia kiihtyvyyksiä. Muut selvitysalueella olevat herkät laitteet on käsitelty kohdekohtaisesti liitteissä ja kohdassa ”Erityisesti varottavat kohteet”.

Tärinäeristetyille ATK-laitteille suurin sallittu kiihtyvyyden arvo on 1,5g laitteen vierestä lattiasta mitattuna. Mikäli palvelinhuoneessa on kelluva lattiarakenne, tehdään mittaus sen alapuolelta.

Keilaniemen alueella on alustavan arvion mukaan noin kymmenen kohdetta, joissa on GSM-tukiasemalaitteita. Näiden laitteiden suurin sallittu tärinäraja-arvo on ilman eristimiä 0,25g. Alustavan arvion mukaan kussakin kohteessa on 2 - 3 erityisesti varottavaa laitetta ja kaikkiaan yhteensä noin 70 – 80 laitetta. Lisätietoja antaa [REDACTED] Pääsääntöisesti tukiasemat on pystytty eristämään. Tukiasemien yksityiskohtaiset tiedot sijaintineen ilmoitetaan valitulle urakoitsijalle ennen louhintatyön aloittamista.

5. TÄRINÄVALVONTA

Tärinää on tarkkailtava koko louhintatyön keston ajan kolmikomponenttisesti keskimäärin 18 tärinämittarilla. Mittarit on aina sijoitettava työkohdetta lähimpinä olevien rakenteiden tai laitteiden tai kauempanakin olevien työn turvallisen suorittamisen kannalta kriittisten kohteiden läheisyyteen. Tärinämittauslaitteet on asennettava siten, että mittausetäisyys rakenteissa on vähintään 10 metriä louhintakohteesta.

Tärinän heilahdusnopeuden ja kiihtyvyyden maksimin suunta tulee vaihtelevaan louhinnan sijainnin, korkeustason ja louhintatavan vaihdella. Mittauksilla tulee tarkkailla koko ajan mihin suuntaan tärinän heilahdusnopeus ja kiihtyvyys on suurin.

mittausraportti

Sivu 1/2

Oy Finnrock**mittausraportti**

20111212-Tuupakan Teollisuuskortteli

raporttityökalu	Mistä: 12.12.2011 9:00:00	mihin: 24.1.2012 23:59:59	Vienti Tulosta Sulje			
Mittauspiste	sijainti	Päivämäärä	tulokset			
MP1-V	Kohde 1 Uddeholm varasto	18.1.2012 14:33:03	12.4 mm/s	3.11 m/s ²	65.2 µm	29.0 Hz
MP3-T	Kohde 6 Cramo toimisto	18.1.2012 14:33:03	8.55 mm/s	3.15 m/s ²	45.4 µm	43.5 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	18.1.2012 14:33:03	7.95 mm/s	2.25 m/s ²	52.9 µm	27.9 Hz
MP2-V	Kohde 3 Pumpaamo	18.1.2012 14:33:03	12.7 mm/s	4.14 m/s ²	44.4 µm	43.4 Hz
MP2-L	Kohde 3 Pumpaamo	18.1.2012 14:33:03	8.20 mm/s	1.95 m/s ²	43.4 µm	24.8 Hz
MP3-V	Kohde 6 Cramo toimisto	18.1.2012 14:33:03	5.85 mm/s	3.50 m/s ²	28.0 µm	67.1 Hz
MP3-L	Kohde 6 Cramo toimisto	18.1.2012 14:33:03	4.65 mm/s	1.74 m/s ²	28.8 µm	27.6 Hz
MP1-L	Kohde 1 Uddeholm varasto	18.1.2012 14:33:03	10.0 mm/s	2.25 m/s ²	46.0 µm	34.2 Hz
MP2-T	Kohde 3 Pumpaamo	18.1.2012 14:33:03	11.8 mm/s	2.92 m/s ²	71.8 µm	23.9 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	12.1.2012 13:50:14	5.60 mm/s	1.99 m/s ²	27.3 µm	36.9 Hz
MP3-L	Kohde 6 Cramo toimisto	12.1.2012 13:50:14	3.95 mm/s	1.47 m/s ²	28.0 µm	14.6 Hz
MP1-V	Kohde 1 Uddeholm varasto	12.1.2012 13:50:14	5.95 mm/s	2.30 m/s ²	32.8 µm	29.9 Hz
MP3-V	Kohde 6 Cramo toimisto	12.1.2012 13:50:14	5.75 mm/s	3.79 m/s ²	18.4 µm	41.0 Hz
MP2-T	Kohde 3 Pumpaamo	12.1.2012 13:50:14	7.20 mm/s	2.22 m/s ²	39.5 µm	26.7 Hz
MP3-T	Kohde 6 Cramo toimisto	12.1.2012 13:50:14	8.70 mm/s	3.00 m/s ²	32.9 µm	48.8 Hz
MP2-L	Kohde 3 Pumpaamo	12.1.2012 13:50:14	4.65 mm/s	1.82 m/s ²	25.1 µm	29.1 Hz
MP1-L	Kohde 1 Uddeholm varasto	12.1.2012 13:50:14	9.45 mm/s	2.13 m/s ²	39.0 µm	37.1 Hz
MP2-V	Kohde 3 Pumpaamo	12.1.2012 13:50:14	9.55 mm/s	3.20 m/s ²	32.0 µm	49.7 Hz
MP2-T	Kohde 3 Pumpaamo	9.1.2012 14:30:55	10.5 mm/s	2.55 m/s ²	64.4 µm	31.3 Hz
MP1-L	Kohde 1 Uddeholm varasto	9.1.2012 14:30:55	12.7 mm/s	3.17 m/s ²	64.2 µm	32.0 Hz
MP2-L	Kohde 3 Pumpaamo	9.1.2012 14:30:55	5.40 mm/s	1.39 m/s ²	29.1 µm	30.1 Hz
MP2-V	Kohde 3 Pumpaamo	9.1.2012 14:30:55	9.40 mm/s	2.74 m/s ²	43.3 µm	28.1 Hz
MP1-V	Kohde 1 Uddeholm varasto	9.1.2012 14:30:55	9.70 mm/s	1.81 m/s ²	45.1 µm	28.2 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	9.1.2012 14:30:55	7.35 mm/s	2.27 m/s ²	35.2 µm	34.4 Hz
MP3-L	Kohde 6 Cramo toimisto	9.1.2012 14:30:54	3.05 mm/s	2.16 m/s ²	21.4 µm	20.0 Hz
MP3-T	Kohde 6 Cramo toimisto	9.1.2012 14:30:54	11.5 mm/s	3.47 m/s ²	41.6 µm	36.8 Hz
MP3-V	Kohde 6 Cramo toimisto	9.1.2012 14:30:54	5.00 mm/s	2.96 m/s ²	22.9 µm	35.8 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	9.1.2012 8:32:02	1.55 mm/s	1.17 m/s ²	6.82 µm	35.5 Hz
MP1-V	Kohde 1 Uddeholm varasto	9.1.2012 8:32:02	1.40 mm/s	0.97 m/s ²	8.44 µm	31.1 Hz
MP2-T	Kohde 3 Pumpaamo	2.1.2012 14:34:31	8.90 mm/s	3.11 m/s ²	50.2 µm	31.2 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	2.1.2012 14:34:31	7.05 mm/s	2.05 m/s ²	41.4 µm	35.7 Hz
MP2-V	Kohde 3 Pumpaamo	2.1.2012 14:34:31	7.50 mm/s	2.86 m/s ²	22.3 µm	55.6 Hz
MP1-L	Kohde 1 Uddeholm varasto	2.1.2012 14:34:31	9.00 mm/s	2.51 m/s ²	46.6 µm	29.8 Hz
MP1-V	Kohde 1 Uddeholm varasto	2.1.2012 14:34:31	4.65 mm/s	2.06 m/s ²	23.8 µm	38.8 Hz
MP3-V	Kohde 6 Cramo toimisto	2.1.2012 14:34:31	4.85 mm/s	3.40 m/s ²	16.2 µm	38.2 Hz
MP2-L	Kohde 3 Pumpaamo	2.1.2012 14:34:31	3.25 mm/s	1.73 m/s ²	24.1 µm	58.8 Hz
MP3-T	Kohde 6 Cramo toimisto	2.1.2012 14:34:31	7.85 mm/s	2.64 m/s ²	37.1 µm	39.6 Hz
MP3-L	Kohde 6 Cramo toimisto	2.1.2012 14:34:31	3.25 mm/s	1.27 m/s ²	24.8 µm	34.8 Hz
MP2-T	Kohde 3 Pumpaamo	27.12.2011 14:55:48	7.85 mm/s	2.16 m/s ²	40.2 µm	33.3 Hz
MP3-L	Kohde 6 Cramo toimisto	27.12.2011 14:55:48	2.90 mm/s	1.36 m/s ²	26.5 µm	16.7 Hz
MP3-V	Kohde 6 Cramo toimisto	27.12.2011 14:55:48	4.95 mm/s	3.21 m/s ²	17.0 µm	38.8 Hz
MP1-L	Kohde 1 Uddeholm varasto	27.12.2011 14:55:48	10.2 mm/s	2.09 m/s ²	55.2 µm	32.2 Hz
MP1-V	Kohde 1 Uddeholm varasto	27.12.2011 14:55:48	4.30 mm/s	1.34 m/s ²	18.9 µm	29.7 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	27.12.2011 14:55:48	6.90 mm/s	2.21 m/s ²	39.8 µm	31.0 Hz
MP2-L	Kohde 3 Pumpaamo	27.12.2011 14:55:48	3.00 mm/s	1.29 m/s ²	17.3 µm	36.9 Hz

<http://ncvib-web.nc.deltamanagement.se/matvardeRapport.aspx?typ=matvardeperrad&...> 24.1.2012

(jatkuu)

Oy Finnrock**mittausraportti**

20111212-Tuupakan Teollisuuskortteli

MP2-V	Kohde 3 Pumppaamo	27.12.2011 14:55:48	6.75 mm/s	2.40 m/s ²	25.4 µm	47.4 Hz
MP3-T	Kohde 6 Cramo toimisto	27.12.2011 14:55:48	6.15 mm/s	2.27 m/s ²	36.6 µm	25.6 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	21.12.2011 14:28:28	6.55 mm/s	2.05 m/s ²	37.1 µm	27.1 Hz
MP2-L	Kohde 3 Pumppaamo	21.12.2011 14:28:28	3.35 mm/s	1.19 m/s ²	18.2 µm	35.3 Hz
MP3-V	Kohde 6 Cramo toimisto	21.12.2011 14:28:28	2.75 mm/s	1.82 m/s ²	8.29 µm	85.1 Hz
MP3-T	Kohde 6 Cramo toimisto	21.12.2011 14:28:28	4.25 mm/s	1.59 m/s ²	16.1 µm	44.6 Hz
MP1-L	Kohde 1 Uddeholm varasto	21.12.2011 14:28:28	5.75 mm/s	1.34 m/s ²	29.0 µm	34.9 Hz
MP3-L	Kohde 6 Cramo toimisto	21.12.2011 14:28:28	1.80 mm/s	0.93 m/s ²	9.65 µm	49.8 Hz
MP1-V	Kohde 1 Uddeholm varasto	21.12.2011 14:28:28	4.40 mm/s	1.43 m/s ²	26.0 µm	34.5 Hz
MP2-T	Kohde 3 Pumppaamo	21.12.2011 14:28:28	6.65 mm/s	1.66 m/s ²	40.2 µm	23.8 Hz
MP2-V	Kohde 3 Pumppaamo	21.12.2011 14:28:28	5.05 mm/s	1.94 m/s ²	17.2 µm	49.7 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	19.12.2011 12:49:03	4.95 mm/s	2.13 m/s ²	26.6 µm	25.0 Hz
MP1-V	Kohde 1 Uddeholm varasto	19.12.2011 12:49:03	3.85 mm/s	1.24 m/s ²	15.9 µm	48.2 Hz
MP1-L	Kohde 1 Uddeholm varasto	19.12.2011 12:49:03	4.45 mm/s	1.39 m/s ²	23.7 µm	29.4 Hz
MP3-T	Kohde 6 Cramo toimisto	19.12.2011 12:49:02	3.25 mm/s	0.93 m/s ²	18.4 µm	27.2 Hz
MP2-V	Kohde 3 Pumppaamo	19.12.2011 12:49:02	2.50 mm/s	1.23 m/s ²	10.9 µm	38.7 Hz
MP3-L	Kohde 6 Cramo toimisto	19.12.2011 12:49:02	1.50 mm/s	0.62 m/s ²	11.9 µm	17.9 Hz
MP2-T	Kohde 3 Pumppaamo	19.12.2011 12:49:02	5.25 mm/s	1.12 m/s ²	32.7 µm	21.2 Hz
MP2-L	Kohde 3 Pumppaamo	19.12.2011 12:49:02	1.80 mm/s	0.68 m/s ²	8.00 µm	33.9 Hz
MP3-V	Kohde 6 Cramo toimisto	19.12.2011 12:49:02	1.60 mm/s	1.19 m/s ²	7.12 µm	39.3 Hz
MP2-T	Kohde 3 Pumppaamo	15.12.2011 12:45:50	2.60 mm/s	0.69 m/s ²	10.3 µm	39.9 Hz
MP1-L	Kohde 1 Uddeholm varasto	15.12.2011 12:45:50	2.70 mm/s	0.77 m/s ²	15.5 µm	29.3 Hz
MP2-L	Kohde 3 Pumppaamo	15.12.2011 12:45:50	1.15 mm/s	0.51 m/s ²	6.51 µm	24.0 Hz
MP1-V	Kohde 1 Uddeholm varasto	15.12.2011 12:45:50	3.00 mm/s	1.20 m/s ²	15.0 µm	34.0 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	15.12.2011 12:45:50	3.55 mm/s	1.57 m/s ²	15.8 µm	40.3 Hz
MP2-V	Kohde 3 Pumppaamo	15.12.2011 12:45:50	2.00 mm/s	0.96 m/s ²	7.86 µm	54.0 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	15.12.2011 9:17:17	1.70 mm/s	0.79 m/s ²	8.20 µm	38.9 Hz
MP1-V	Kohde 1 Uddeholm varasto	15.12.2011 9:17:17	1.15 mm/s	0.38 m/s ²	5.76 µm	30.1 Hz
MP1-L	Kohde 1 Uddeholm varasto	15.12.2011 9:17:17	1.50 mm/s	0.45 m/s ²	7.12 µm	32.9 Hz
MP1-V	Kohde 1 Uddeholm varasto	13.12.2011 14:57:38	1.50 mm/s	0.65 m/s ²	7.82 µm	37.7 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	13.12.2011 14:57:38	2.85 mm/s	0.89 m/s ²	16.7 µm	24.1 Hz
MP2-T	Kohde 3 Pumppaamo	13.12.2011 14:57:38	2.60 mm/s	0.50 m/s ²	16.0 µm	25.3 Hz
MP2-V	Kohde 3 Pumppaamo	13.12.2011 14:57:38	1.10 mm/s	0.57 m/s ²	3.39 µm	48.9 Hz
MP1-L	Kohde 1 Uddeholm varasto	13.12.2011 14:57:38	2.65 mm/s	0.65 m/s ²	14.5 µm	27.5 Hz
MP2-T	Kohde 3 Pumppaamo	13.12.2011 11:35:15	2.00 mm/s	0.49 m/s ²	11.3 µm	24.8 Hz
MP1-V	Kohde 1 Uddeholm varasto	13.12.2011 11:35:15	1.20 mm/s	0.52 m/s ²	4.51 µm	44.6 Hz
MP2-V	Kohde 3 Pumppaamo	13.12.2011 11:35:15	1.20 mm/s	0.43 m/s ²	3.95 µm	47.6 Hz
MP1-L	Kohde 1 Uddeholm varasto	13.12.2011 11:35:15	2.55 mm/s	0.81 m/s ²	9.96 µm	33.8 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	13.12.2011 11:35:15	2.50 mm/s	1.31 m/s ²	10.2 µm	40.9 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	12.12.2011 13:55:28	1.30 mm/s	0.71 m/s ²	3.57 µm	89.8 Hz
MP1-L	Kohde 1 Uddeholm varasto	12.12.2011 12:06:09	1.80 mm/s	0.41 m/s ²	7.06 µm	32.3 Hz
MP1-T	Kohde 1 Uddeholm varasto	12.12.2011 12:06:09	1.20 mm/s	0.67 m/s ²	5.24 µm	34.0 Hz



2/22/2012

Project

Remark

by

Material

Quantity

Diameter

Surface

Thickness

Shape factor

Insinöörityö

MP3

Vesa Sinervo

Syloodyn® NB

4

40 mm

5027 mm²

12.5 mm

0,8

Holes

Quantity

Diameter

0

0 mm

Mass

32,5 kg

Capacity

100 %

Deflection

1,1 mm

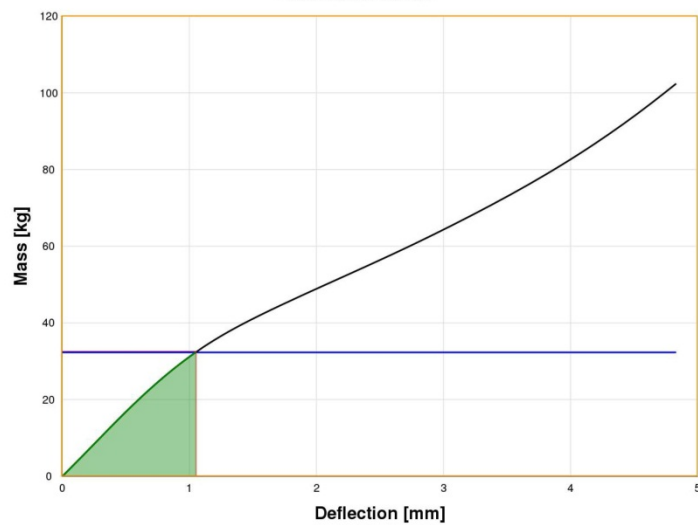
Frequency

14,8 Hz

Dyn. Stiffness

0,28 kN/mm

Dyn. Modulus of elasticity

0,7 N/mm²**Deflection curve**www.getzner.com

AUSTRIA – Bürs

GERMANY – Berlin – Grünwald

JORDAN – Amman

JAPAN – Tokyo

INDIA – Pune

(jatkuu)

**Project**

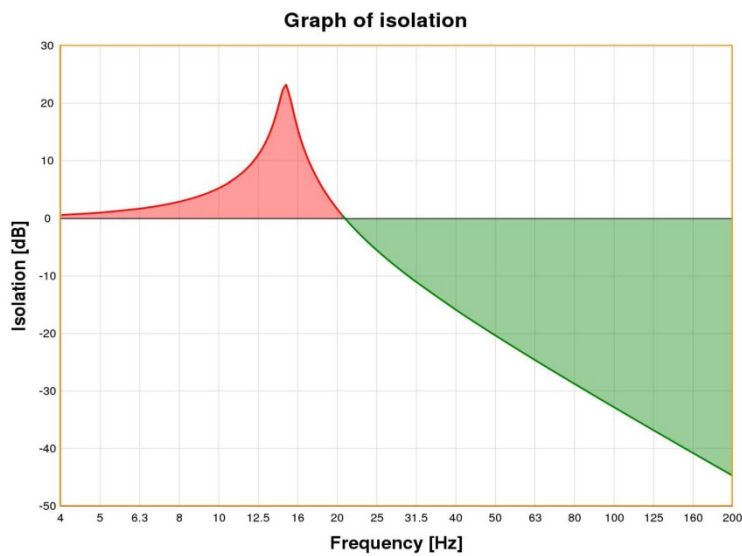
Remark

by

Insinöörityö

MP3

Vesa Sinervo



Frequency	Isolation
4 Hz	0,7 dB / -8%
5 Hz	1,1 dB / -13%
6,3 Hz	1,8 dB / -22%
8 Hz	3 dB / -42%
10 Hz	5,3 dB / -84%
12,5 Hz	10,8 dB / -246%
14,8 Hz	23,1 dB / -1335%
16 Hz	14,5 dB / -432%
20 Hz	1,6 dB / -20%
25 Hz	-5,4 dB / 46%
31,5 Hz	-10,9 dB / 72%
40 Hz	-15,9 dB / 84%
50 Hz	-20,3 dB / 90%
63 Hz	-24,6 dB / 94%
80 Hz	-28,8 dB / 96%
100 Hz	-32,8 dB / 98%
125 Hz	-36,7 dB / 99%
160 Hz	-40,9 dB / 99%
200 Hz	-44,7 dB / 99%

Basis of calculation:

The calculations are based on the physical model of a SDOF oscillator with a mass-less spring on a solid, smooth foundation. The calculation program FreqCalc makes calculations based on the assumption of loading with a rigid mass in the centre of gravity. The calculated value are relevant for the degree of freedom in the vertical direction (1st degree of freedom), taking into consideration the non-linear behavior of the material.

The material data taking into account form factor dependence was last updated: 12/21/2010 | SW-Version 111215

www.getzner.com

AUSTRIA – Bürs

GERMANY – Berlin – Grünwald

JORDAN – Amman

JAPAN – Tokyo

INDIA – Pune

getzner
the good vibrations company



2/22/2012

Project

Remark

by

Material

Quantity

Diameter

Surface

Thickness

Shape factor

Insinööriö

MP1

Vesa Sinervo

Sylomer® SR42

4

50 mm

7854 mm²

25 mm

0,5

Holes

Quantity

Diameter

0

0 mm

Mass

32,5 kg

Capacity

101 %

Deflection

2,3 mm

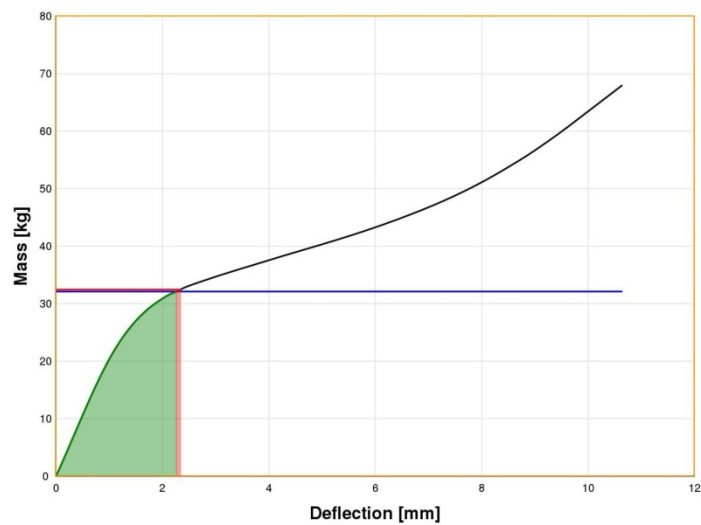
Frequency

10,7 Hz

Dyn. Stiffness

0,15 kN/mm

Dyn. Modulus of elasticity

0,46 N/mm²**Deflection curve**www.getzner.com

AUSTRIA – Bürs

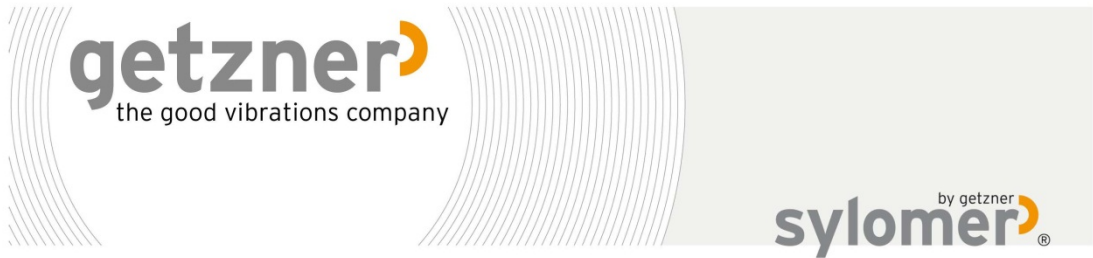
GERMANY – Berlin – Grünwald

JORDAN – Amman

JAPAN – Tokyo

INDIA – Pune

(jatkuu)



Project

Remark

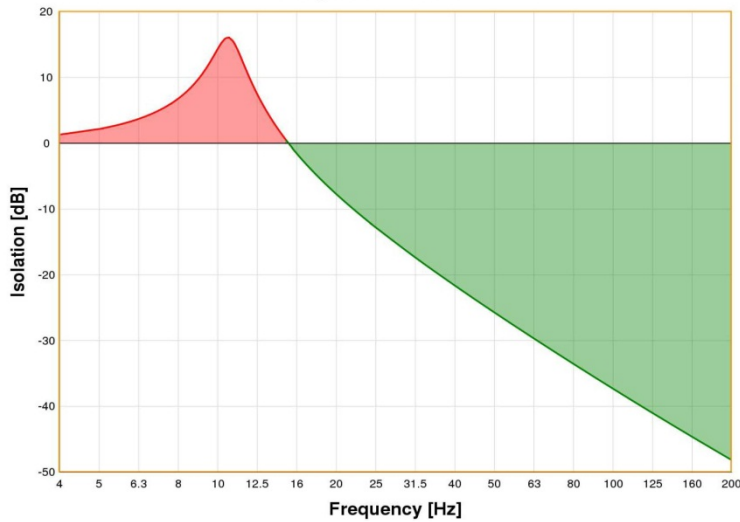
by

Insinöörityö

MP1

Vesa Sinervo

Graph of isolation



Frequency	Isolation
4 Hz	1,4 dB / -17%
5 Hz	2,2 dB / -29%
6,3 Hz	3,7 dB / -53%
8 Hz	7 dB / -123%
10 Hz	14,4 dB / -424%
10,7 Hz	16,1 dB / -538%
12,5 Hz	7,8 dB / -147%
16 Hz	-1,8 dB / 19%
20 Hz	-7,7 dB / 59%
25 Hz	-12,7 dB / 77%
31,5 Hz	-17,3 dB / 86%
40 Hz	-21,7 dB / 92%
50 Hz	-25,7 dB / 95%
63 Hz	-29,6 dB / 97%
80 Hz	-33,6 dB / 98%
100 Hz	-37,3 dB / 99%
125 Hz	-40,9 dB / 99%
160 Hz	-44,8 dB / 99%
200 Hz	-48,2 dB / 100%

Basis of calculation:

The calculations are based on the physical model of a SDOF oscillator with a mass-less spring on a solid, smooth foundation. The calculation program FreqCalc makes calculations based on the assumption of loading with a rigid mass in the centre of gravity. The calculated value are relevant for the degree of freedom in the vertical direction (1st degree of freedom), taking into consideration the non-linear behavior of the material.

The material data taking into account form factor dependence was last updated: 12/21/2010 | SW-Version 111215

www.getzner.com

AUSTRIA – Bürs

GERMANY – Berlin – Grünwald

JORDAN – Amman

JAPAN – Tokyo

INDIA – Pune





2/22/2012

Project

Remark

by

Material

Quantity

Diameter

Surface

Thickness

Shape factor

Insinöörityö

MP1

Vesa Sinervo

Syloodyn® NB

4

40 mm

5027 mm²

25 mm

0,4

Holes

Quantity

Diameter

0

0 mm

Mass

32,5 kg

Capacity

110 %

Deflection

2,5 mm

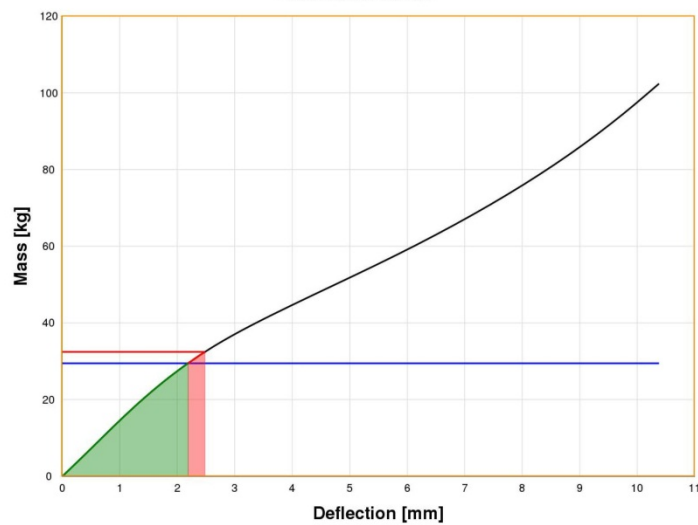
Frequency

9,5 Hz

Dyn. Stiffness

0,12 kN/mm

Dyn. Modulus of elasticity

0,57 N/mm²**Deflection curve**www.getzner.com

AUSTRIA – Bürs

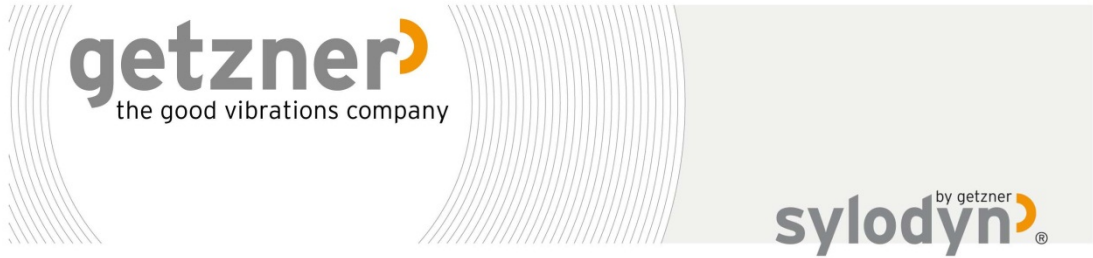
GERMANY – Berlin – Grünwald

JORDAN – Amman

JAPAN – Tokyo

INDIA – Pune

(jatkuu)



Project

Remark

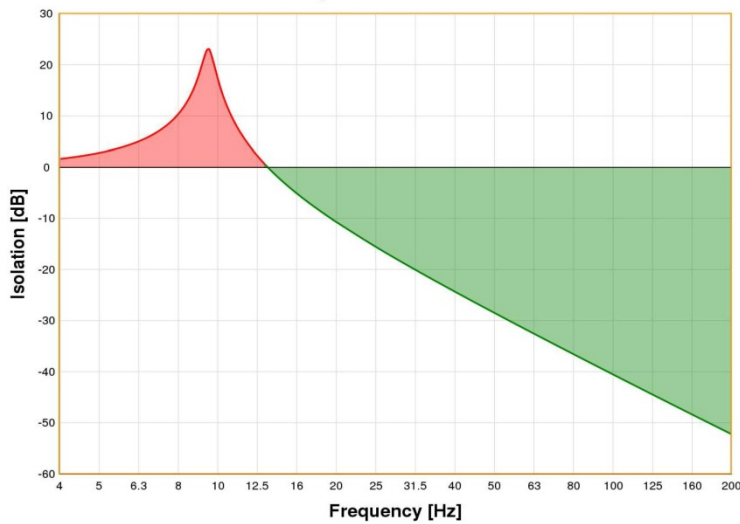
by

Insinöörityö

MP1

Vesa Sinervo

Graph of isolation



Frequency	Isolation
4 Hz	1,7 dB / -22%
5 Hz	2,8 dB / -39%
6,3 Hz	5,1 dB / -79%
8 Hz	10,7 dB / -243%
9,5 Hz	23,1 dB / -1335%
10 Hz	17,4 dB / -637%
12,5 Hz	2,6 dB / -35%
16 Hz	-5,3 dB / 46%
20 Hz	-10,7 dB / 71%
25 Hz	-15,4 dB / 83%
31,5 Hz	-19,9 dB / 90%
40 Hz	-24,4 dB / 94%
50 Hz	-28,4 dB / 96%
63 Hz	-32,5 dB / 98%
80 Hz	-36,6 dB / 99%
100 Hz	-40,5 dB / 99%
125 Hz	-44,3 dB / 99%
160 Hz	-48,5 dB / 100%
200 Hz	-52,2 dB / 100%

Basis of calculation:

The calculations are based on the physical model of a SDOF oscillator with a mass-less spring on a solid, smooth foundation. The calculation program FreqCalc makes calculations based on the assumption of loading with a rigid mass in the centre of gravity. The calculated value are relevant for the degree of freedom in the vertical direction (1st degree of freedom), taking into consideration the non-linear behavior of the material.
 The material data taking into account form factor dependence was last updated: 12/21/2010 | SW-Version 111215

www.getzner.com

AUSTRIA – Bürs GERMANY – Berlin – Grünwald JORDAN – Amman JAPAN – Tokyo INDIA – Pune



20/04 '95 MA 07:37 FAX 03 5143137

TEKNIKUM OY

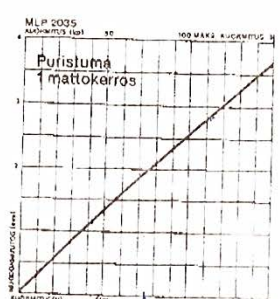
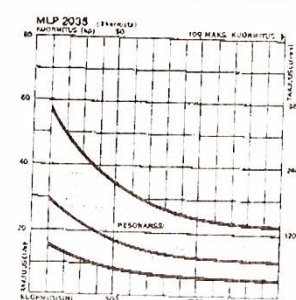
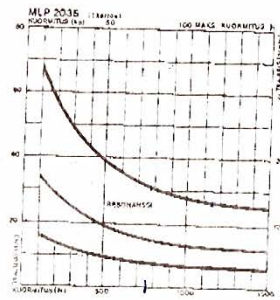
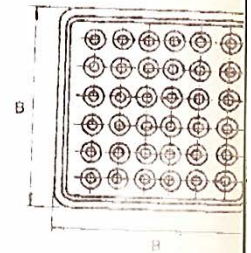
005

② 4/6

Painuman kasvaessa pienenee ominaistaajuus. Tärinäeristyksessä on eduksi pyrkiä suureen taajuussuhteen (n) arvoon ($n = \frac{f}{f_0}$). Siksi käytetään eristysmatoille yleensä suurinta painumaa ja sallittua kuormitusta. Mikäli tärinän luonne ja käyttöpaikan olosuhteet vaativat, voidaan eristys perustaa yksinomaan kumin värähtelyjä absorboiviin sisäisiin ominaisuuksiin. Myös näissä eristyksissä on ominaistaajuus säädettävä siten, ettei mikään koneen aiheuttamista värähtelytaajuuksista satu järjestelmän resonanssialueelle. Tämä alue on esitetty eristimien ominaistaajuuskäyrissä, ja se on käytännössä $0,5-2 \times f_0$. Matot kestävät hyvin sään vaikutuksia ja öljyjen roiskeita. Eristin on kuitenkin syyt suojata jatkuvalta öljyn vaikutuksesta ja liuottimilta.

Matto MLP 2035
Matto MLP 2037

Tyyppi	H	B	Maksimi-kuormitus	Ominaisjaksoluku maks. kuormituksella (1/s)
MLP 2035	20	110	1500 N	13, 11, 9
MLP 2037	20	110	2000 N	26, 23, 21



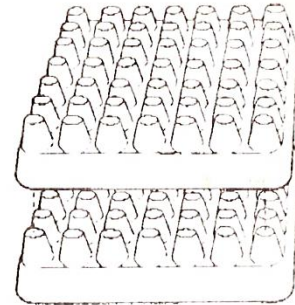
Kahden MLP mattokerroksen vapaa korkeus on 31 mm ja kolmen 42 mm.

20/04/98 MA 07:37 FAX 03 5143137

TEKNIKUM OY

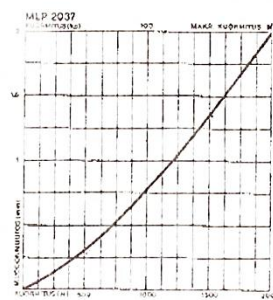
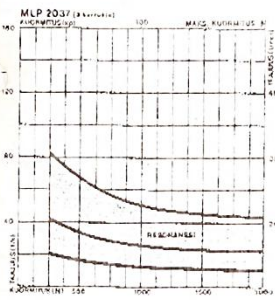
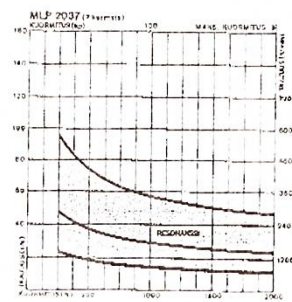
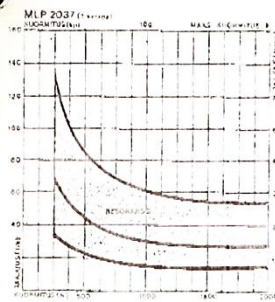
009

② 5/6



Ma
Ma
Ty
ML
ML
*) M
Sile
ta 5

Matto MLP 2037
(mitat edellisellä sivulla)



HUOM!
KTS MYÖS
TAKASIVUN
MATTO

Tärinäeristysmattojen materiaali on sään ja roiskeöljyn kestävä kumi 64 (kloropreeni). Esitteen kaikki käyrät perustuvat eristimistä mittaamalla saatuihin tuloksiin.

Häviökertoimet:

Mattojen, joiden tunnusosa päättyy numeroihin 35 häviökerroin on 0,1 (+ 23°C).

Mattojen, joiden tunnusosa päättyy numeroihin 37 häviökerroin on 0,2 (+ 23°C).

Mattojen ominaisuuksista ilmoitettavat suureet perustuvat standardiin ISO 2017-1972 (E).

(jatkuu)

20-04 198 MA 07:38 FAX 03 5143137

TEKNIKUM OY

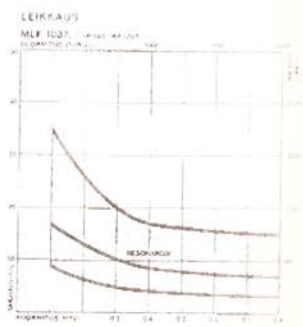
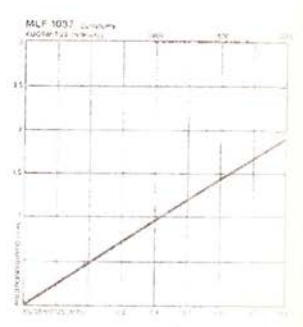
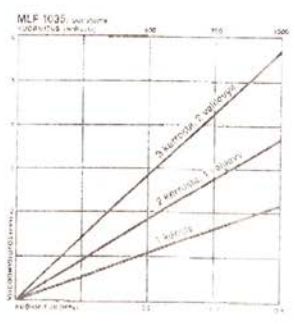
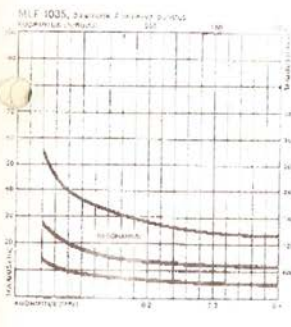
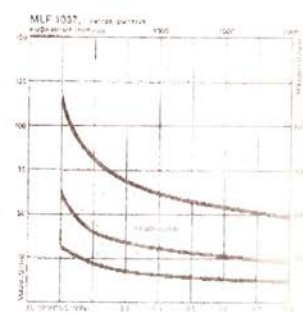
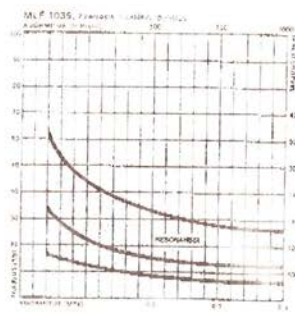
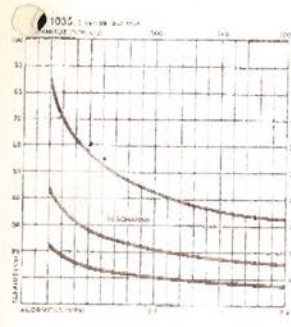
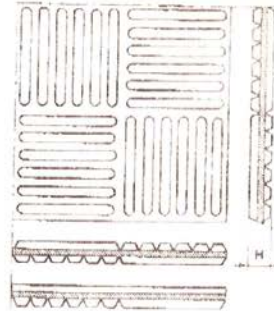
010

2 6/6

Matto MLF 1035 Mitat: 500 x 500 mm
 Matto MLF 1037*)

Tyyppi	H	Maksimi-kuormitus	Ominaisjaksoluku maks. kuormituksella (1/s)
MLF 1035	10	0,4 MPa	16, 13, 11
MLF 1037*	10	0,8 MPa	24

*) Matossa MLF 1037 on kuvio vain toisella puolella. Sileän pinnan ruudutus helpottaa maton leikkausta 50 x 50 mm moduulijaloille.



TEKNIKUM OY
 Ratakatu 2
 38210 VÄMMÄLÄ
 Puh. 932-1911, telex 22152 gumi sf

26.1.2011						31.1.2012						7.2.2012					
1						2						3					
Syödyn ylikritinen						Syödyn ylikritinen						Syödyn ylikritinen					
Vektorisumma						Vektorisumma						Vektorisumma					
5,76 mm/s						17,8 mm/s						24,7 mm/s					
0,155 s						0,355 s						0,38 s					
MP1	Trans	Vert	Long	MP1	Trans	Vert	Long	MP1	Trans	Vert	Long	MP1	Trans	Vert	Long		
mm/s	1,03	9,75	0,68	mm/s	1,57	17,80	1,17	mm/s	2,00	24,70	1,35	mm/s	2,00	24,70	1,35		
Hz	7,3	20,0	17,0	Hz	11,0	17,0	10,0	Hz	13,0	18,0	15,0	Hz	13,0	18,0	15,0		
sec(peak)	0,224	0,155	0,188	sec(peak)	0,230	0,355	0,136	sec(peak)	0,275	0,380	0,411	sec(peak)	0,275	0,380	0,411		
G (m/s ²)	0,020	0,134	0,017	G (m/s ²)	0,020	0,201	0,017	G (m/s ²)	0,023	0,292	0,022	G (m/s ²)	0,023	0,292	0,022		
displace (mm)	0,025	0,080	0,007	displace (mm)	0,018	0,161	0,026	displace (mm)	0,026	0,212	0,014	displace (mm)	0,026	0,212	0,014		
Vektorisumma	29,5 mm/s					Vektorisumma	?? mm/s					Vektorisumma	73,000 mm/s				
Vaimentamaton						Vaimentamaton						Vaimentamaton					
MP2	Trans	Vert	Long	MP2	Trans	Vert	Long	MP2	Trans	Vert	Long	MP2	Trans	Vert	Long		
mm/s	9,56	29,00	8,24	mm/s	17,00	40,00	12,40	mm/s	18,80	72,60	13,70	mm/s	18,80	72,60	13,70		
Hz	18,0	18,0	34,0	Hz	20,0	20,0	34,0	Hz	18,0	20,0	34,0	Hz	18,0	20,0	34,0		
sec(peak)	0,263	0,323	0,259	sec(peak)	0,265	0,458	0,160	sec(peak)	0,367	0,502	0,121	sec(peak)	0,367	0,502	0,121		
G (m/s ²)	0,151	0,784	0,232	G (m/s ²)	0,210	0,981	0,292	G (m/s ²)	0,305	1,310	0,490	G (m/s ²)	0,305	1,310	0,490		
displace (mm)	0,094	0,180	0,040	displace (mm)	0,125	0,291	0,055	displace (mm)	0,158	0,444	0,064	displace (mm)	0,158	0,444	0,064		
Vektorisumma	8,970 mm/s					Vektorisumma	13,400 mm/s					Vektorisumma	14,700 mm/s				
Syödyn optimaalinen						Syödyn optimaalinen						Syödyn optimaalinen					
MP3	Trans	Vert	Long	MP3	Trans	Vert	Long	MP3	Trans	Vert	Long	MP3	Trans	Vert	Long		
mm/s	3,27	8,57	2,03	mm/s	4,24	13,20	3,49	mm/s	3,27	14,40	1,94	mm/s	3,27	14,40	1,94		
Hz	9,1	22,0	9,3	Hz	11,0	19,0	8,1	Hz	11,0	17,0	10,0	Hz	11,0	17,0	10,0		
sec(peak)	0,442	0,265	0,433	sec(peak)	0,255	0,232	0,416	sec(peak)	0,395	0,405	0,462	sec(peak)	0,395	0,405	0,462		
G (m/s ²)	0,040	0,128	0,022	G (m/s ²)	0,048	0,184	0,030	G (m/s ²)	0,040	0,177	0,023	G (m/s ²)	0,040	0,177	0,023		
displace (mm)	0,055	0,058	0,033	displace (mm)	0,062	0,123	0,071	displace (mm)	0,057	0,143	0,028	displace (mm)	0,057	0,143	0,028		
Vektorisumma	14,100 mm/s					Vektorisumma	17,200 mm/s					Vektorisumma	27,800 mm/s				
Teknikum						Teknikum						Teknikum					
MP4	Trans	Vert	Long	MP4	Trans	Vert	Long	MP4	Trans	Vert	Long	MP4	Trans	Vert	Long		
mm/s	7,05	13,50	8,57	mm/s	7,25	16,20	12,80	mm/s	6,95	27,70	11,30	mm/s	6,95	27,70	11,30		
Hz	13,0	19,0	14,0	Hz	15,0	20,0	14,0	Hz	13,0	19,0	15,0	Hz	13,0	19,0	15,0		
sec(peak)	0,271	0,218	0,333	sec(peak)	0,479	0,452	0,293	sec(peak)	0,283	0,432	0,505	sec(peak)	0,283	0,432	0,505		
G (m/s ²)	0,093	0,325	0,109	G (m/s ²)	0,109	0,428	0,144	G (m/s ²)	0,099	0,394	0,149	G (m/s ²)	0,099	0,394	0,149		
displace (mm)	0,082	0,103	0,085	displace (mm)	0,078	0,116	0,139	displace (mm)	0,072	0,182	0,112	displace (mm)	0,072	0,182	0,112		
Vektorisumma	10,400 mm/s					Vektorisumma	12,500 mm/s					Vektorisumma	12,600 mm/s				
Lattia						Lattia						Lattia					
MPS	Trans	Vert	Long	MPS	Trans	Vert	Long	MPS	Trans	Vert	Long	MPS	Trans	Vert	Long		
mm/s	6,79	11,60	7,11	mm/s	7,05	9,84	4,24	mm/s	8,64	12,30	8,11	mm/s	8,64	12,30	8,11		
Hz	24,0	27,0	13,0	Hz	30,0	26,0	32,0	Hz	34,0	21,0	39,0	Hz	34,0	21,0	39,0		
sec(peak)	0,283	0,175	0,221	sec(peak)	0,231	0,202	0,109	sec(peak)	0,152	0,354	0,249	sec(peak)	0,152	0,354	0,249		
G (m/s ²)	0,166	0,317	0,242	G (m/s ²)	0,166	0,278	0,184	G (m/s ²)	0,191	0,265	0,249	G (m/s ²)	0,191	0,265	0,249		
displace (mm)	0,045	0,071	0,041	displace (mm)	0,032	0,052	0,023	displace (mm)	0,038	0,098	0,035	displace (mm)	0,038	0,098	0,035		

(jatkuu)

14.2.2012		20.2.2012		27.2.2012			
Vektorisumma		Vektorisumma		Vektorisumma			
13,4 mm/s		12,2 mm/s		21,1 mm/s			
0,367 s		0,493 s		0,345 s			
4 Syödön ylläpitäminen							
MP1		MP1		MP1			
mm/s	Trans 1,25	Vert 13,40	Long 1,37	mm/s	Trans 1,86	Vert 12,20	Long 1,40
Hz	16,0	20,0	7,1	Hz	12,0	18,0	9,7
sec(peak)	0,241	0,367	0,334	sec(peak)	0,192	0,493	0,342
G (m/s ²)	0,022	0,164	0,017	G (m/s ²)	0,023	0,149	0,018
displace (mm)	0,014	0,109	0,023	displace (mm)	0,021	0,118	0,025
Vektorisumma		Vektorisumma		Vektorisumma			
43,600 mm/s		0,237 s		43,900 mm/s		0,702 s	
Vaimentamaton							
MP2		MP2		MP2			
mm/s	Trans 20,20	Vert 41,30	Long 12,20	mm/s	Trans 19,30	Vert 43,80	Long 12,30
Hz	19,0	19,0	34,0	Hz	18,0	20,0	34,0
sec(peak)	0,327	0,237	0,379	sec(peak)	0,477	0,702	0,306
G (m/s ²)	0,265	0,862	0,371	G (m/s ²)	0,252	0,968	0,331
displace (mm)	0,171	0,296	0,073	displace (mm)	0,158	0,312	0,051
Vektorisumma		Vektorisumma		Vektorisumma			
19,300 mm/s		0,347 s		23,000 mm/s		0,463 s	
Syödön optimaalinen							
MP3		MP3		MP3			
mm/s	Trans 2,64	Vert 18,40	Long 6,83	mm/s	Trans 2,67	Vert 22,90	Long 3,48
Hz	14,0	18,0	8,7	Hz	12,0	16,0	10,0
sec(peak)	0,386	0,347	0,338	sec(peak)	0,194	0,463	0,203
G (m/s ²)	0,048	0,249	0,048	G (m/s ²)	0,038	0,244	0,037
displace (mm)	0,035	0,164	0,110	displace (mm)	0,033	0,230	0,048
Vektorisumma		Vektorisumma		Vektorisumma			
23,300 mm/s		0,238 s		28,100 mm/s		0,502 s	
Teknikum							
MP4		MP4		MP4			
mm/s	Trans 10,80	Vert 23,00	Long 10,60	mm/s	Trans 2,76	Vert 28,00	Long 2,91
Hz	16,0	18,0	13,0	Hz	12,0	17,0	9,3
sec(peak)	0,253	0,238	0,223	sec(peak)	0,215	0,502	0,223
G (m/s ²)	0,149	0,583	0,129	G (m/s ²)	0,050	0,300	0,063
displace (mm)	0,101	0,165	0,110	displace (mm)	0,029	0,259	0,048
Vektorisumma		Vektorisumma		Vektorisumma			
13,700 mm/s		0,186 s		11,500 mm/s		0,415 s	
Lattia							
MP5		MP5		MP5			
mm/s	Trans 7,89	Vert 13,20	Long 9,43	mm/s	Trans 6,62	Vert 11,20	Long 7,59
Hz	32,0	18,0	24,0	Hz	18,0	18,0	39,0
sec(peak)	0,202	0,185	0,170	sec(peak)	0,275	0,415	0,234
G (m/s ²)	0,234	0,379	0,283	G (m/s ²)	0,340	0,370	0,259
displace (mm)	0,051	0,090	0,055	displace (mm)	0,048	0,074	0,035
6 Syömer optimaalinen							
MP1		MP1		MP1			
mm/s	Trans 3,27	Vert 21,10	Long 2,35	mm/s	Trans 4,81	Vert 22,00	Long 4,56
Hz	13,0	17,0	12,0	Hz	9,5	18,0	10,0
sec(peak)	0,362	0,345	0,366	sec(peak)	0,432	0,508	0,288
G (m/s ²)	0,037	0,237	0,030	G (m/s ²)	0,046	0,254	0,041
displace (mm)	0,041	0,202	0,027	displace (mm)	0,075	0,199	0,071
Vektorisumma		Vektorisumma		Vektorisumma			
37,700 mm/s		0,539 s		17,000 mm/s		0,408 s	
Lattia							
MP5		MP5		MP5			
mm/s	Trans 8,76	Vert 16,80	Long 6,13	mm/s	Trans 8,76	Vert 16,80	Long 6,13
Hz	26,0	23,0	16,0	Hz	26,0	23,0	16,0
sec(peak)	0,220	0,408	0,318	sec(peak)	0,220	0,408	0,318
G (m/s ²)	0,189	0,393	0,131	G (m/s ²)	0,189	0,393	0,131
displace (mm)	0,046	0,100	0,049	displace (mm)	0,046	0,100	0,049

(jatkuu)

5-3-2012				13-3-2012				13-3-2012			
7 Sylomer optimaalinen				8 Sylomer optimaalinen				9 Sylomer optimaalinen			
Vektorisumma				Vektorisumma				Vektorisumma			
8,76 mm/s				11,3 mm/s				5,02 mm/s			
0,44 s				0,099 s				0,197 s			
MPP1	Trans	Vert	Long	MPP1	Trans	Vert	Long	MPP1	Trans	Vert	Long
mm/s	2,25	8,73	1,57	mm/s	3,24	11,30	2,98	mm/s	0,94	4,97	1,14
Hz	13,0	19,0	9,7	Hz	8,5	19,0	7,6	Hz	9,1	18,0	7,1
sec(peak)	0,142	0,440	0,396	sec(peak)	0,392	0,099	0,271	sec(peak)	0,084	0,197	0,072
G (m/s ²)	0,030	0,118	0,022	G (m/s ²)	0,041	0,151	0,028	G (m/s ²)	0,012	0,055	0,010
displace (mm)	0,023	0,071	0,029	displace (mm)	0,061	0,294	0,054	displace (mm)	0,013	0,044	0,020
Vektorisumma				Vektorisumma				Vektorisumma			
41,400 mm/s				38,700 mm/s				9,670 mm/s			
Vaimentamaton				Vaimentamaton				Vaimentamaton			
MPP2	Trans	Vert	Long	MPP2	Trans	Vert	Long	MPP2	Trans	Vert	Long
mm/s	20,70	41,10	12,10	mm/s	17,10	38,40	14,00	mm/s	5,08	8,51	6,60
Hz	20,0	20,0	28,0	Hz	20,0	21,0	27,0	Hz	22,0	20,0	30,0
sec(peak)	0,552	0,639	0,353	sec(peak)	0,608	650,000	0,488	sec(peak)	0,481	0,580	0,459
G (m/s ²)	0,292	0,875	0,318	G (m/s ²)	0,252	0,769	0,318	G (m/s ²)	0,066	0,159	0,106
displace (mm)	0,168	0,281	0,069	displace (mm)	0,136	0,280	0,083	displace (mm)	0,043	0,067	0,034
Vektorisumma				Vektorisumma				Vektorisumma			
9,170 mm/s				12,400 mm/s				5,590 mm/s			
Sylodyn optimaalinen				Sylodyn optimaalinen				Sylodyn optimaalinen			
MPP3	Trans	Vert	Long	MPP3	Trans	Vert	Long	MPP3	Trans	Vert	Long
mm/s	2,64	9,10	3,27	mm/s	6,67	11,30	7,21	mm/s	1,30	5,35	1,92
Hz	12,0	19,0	8,1	Hz	8,0	20,0	8,4	Hz	9,3	17,0	8,0
sec(peak)	0,146	0,361	0,375	sec(peak)	0,425	0,215	0,337	sec(peak)	0,084	0,195	0,139
G (m/s ²)	0,041	0,131	0,033	G (m/s ²)	0,043	0,156	0,048	G (m/s ²)	0,013	0,056	0,018
displace (mm)	0,026	0,083	0,058	displace (mm)	0,099	0,087	0,130	displace (mm)	0,018	0,051	0,036
Vektorisumma				Vektorisumma				Vektorisumma			
10,500 mm/s				16,000 mm/s				4,370 mm/s			
Teknikum mini				Teknikum mini				Teknikum mini			
MPP4	Trans	Vert	Long	MPP4	Trans	Vert	Long	MPP4	Trans	Vert	Long
mm/s	3,17	9,99	3,30	mm/s	6,33	15,50	5,67	mm/s	1,29	4,11	2,41
Hz	14,0	19,0	8,8	Hz	8,0	18,0	8,3	Hz	9,5	17,0	9,1
sec(peak)	0,146	0,438	0,319	sec(peak)	0,441	0,224	0,348	sec(peak)	0,472	0,587	0,654
G (m/s ²)	0,046	0,154	0,035	G (m/s ²)	0,061	0,210	0,035	G (m/s ²)	0,017	0,014	0,023
displace (mm)	0,028	0,079	0,066	displace (mm)	0,115	0,133	0,106	displace (mm)	0,016	0,038	0,042
Vektorisumma				Vektorisumma				Vektorisumma			
9,590 mm/s				14,400 mm/s				3,840 mm/s			
Lattia				Lattia				Lattia			
MPP5	Trans	Vert	Long	MPP5	Trans	Vert	Long	MPP5	Trans	Vert	Long
mm/s	6,84	8,72	5,79	mm/s	6,41	12,60	7,38	mm/s	3,08	3,48	3,03
Hz	27,0	20,0	22,0	Hz	21,0	23,0	26,0	Hz	24,0	20,0	17,0
sec(peak)	0,309	0,469	0,361	sec(peak)	0,190	0,172	0,166	sec(peak)	0,064	0,135	0,058
G (m/s ²)	0,220	0,275	0,136	G (m/s ²)	0,161	0,527	0,161	G (m/s ²)	0,070	0,091	0,050
displace (mm)	0,039	0,068	0,047	displace (mm)	0,043	0,074	0,048	displace (mm)	0,020	0,022	0,023

20.3.2012						
Vektorisumma		9,52 mm/s		0,428 s		
10	Sylomer optimaalinen	Trans	Vert	Long		
	MP1	mm/s	mm/s	mm/s		
		1,68	9,48	1,90		
		Hz	18,0	8,5		
		sec(peak)	0,438	0,428	0,454	
		G (m/s ²)	0,027	0,119	0,015	
		displace (mm)	0,019	0,081	0,035	
	Vektorisumma	35,100 mm/s		0,649 s		
	Vaimentamaton	Trans	Vert	Long		
	MP2	mm/s	mm/s	mm/s		
		13,70	34,30	12,40		
		Hz	21,0	20,0	37,0	
		sec(peak)	0,379	0,649	0,365	
		G (m/s ²)	0,225	0,901	0,305	
		displace (mm)	0,117	0,232	0,052	
	Vektorisumma	14,300 mm/s		0,608 s		
	Sylolyn optimaalinen	Trans	Vert	Long		
	MP3	mm/s	mm/s	mm/s		
		3,41	14,00	4,52		
		Hz	8,3	16,0	8,4	
		sec(peak)	0,475	0,608	0,440	
		G (m/s ²)	0,037	0,157	0,032	
		displace (mm)	0,059	0,143	0,080	
	Vektorisumma	9,180 mm/s		0,438 s		
	Teknikum mini	Trans	Vert	Long		
	MP4	mm/s	mm/s	mm/s		
		2,54	8,37	4,49		
		Hz	11,0	17,0	7,9	
		sec(peak)	0,175	0,437	0,443	
		G (m/s ²)	0,051	0,167	0,035	
		displace (mm)	0,033	0,085	0,089	
	Vektorisumma	11,200 mm/s		0,492 s		
	Lattia	Trans	Vert	Long		
	MP5	mm/s	mm/s	mm/s		
		5,79	11,20	4,62		
		Hz	26,0	26,0	30,0	
		sec(peak)	0,343	0,492	0,372	
		G (m/s ²)	0,187	0,411	0,174	
		displace (mm)	0,034	0,059	0,024	