

Louhintatyöstä syntyvän tärinän ris- kinarviointi ja mittaaminen

Tatu-Pekka Sirkko

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Tatu-Pekka Sirkko	
Työn nimi Louhintatyöstä syntyvän tärinän riskinarviointi ja mittaaminen	
Päiväys 10.4.2012	Sivumäärä/Liitteet 35
Ohjaaja(t) Lehtori Raimo Lehtiniemi, pt. tuntiopettaja Teemu Räsänen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kari Luukkonen, Suomen GPS-Mittaus Oy	
Tiivistelmä <p>Räjätystyöt sekä jotkin rakentamisen toiminnot voivat aiheuttaa rakennuksia vaurioittavaa ja ihmisiä häiritsevää tärinää. Tiukkenevat vaatimukset ympäristön ja ihmisten häiriöttömyydestä ja viihtyvyydestä vaativat kiinnittämään yhä enemmän huomiota rakennustyöstä johtuvan tärinän riskinarviointiin. Tämän insinööriyön tavoitteena oli tarkastella syntyviä tärinöitä, tärinöiden hallintaa sekä tärinän mittaamiseen soveltuvia mittareita.</p> <p>Opinnäytetyö rajattiin käsittelemään vain louhinnasta syntyvää tärinää. Tietoa työtä varten kerättiin alan kirjallisuudesta, lakiteksteistä sekä tärinämittareiden valmistajilta. Työn lopuksi tehtiin myös käytännön tärinämittaus ottoaluetyömaalla.</p> <p>Työn tuloksena saatiin tiivis teos tärinöistä, jota tilaaja voi käyttää apunaan tärinöiden riskinarvioinnissa sekä laitehankintoja suunnitellessaan. Kaikki tarkastellut tärinämittarit olivat toimintaperiaatteeltaan samanlaisia ja ainoat merkittävät erot niiden välillä olivat niiden lisäominaisuuksissa.</p>	
Avainsanat tärinä louhinta	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Tatu-Pekka Sirkko			
Title of Thesis Risk evaluation and monitoring vibration caused by rock blasting			
Date	10 April 2012	Pages/Appendices	35
Supervisor(s) Mr Raimo Lehtiniemi, Lecturer, Mr Teemu Räsänen, Lecturer			
Client Organisation/Partners Mr Kari Luukkonen, Suomen GPS-Mittaus Oy			
<p>Abstract</p> <p>Rock blasting works and some activities at construction sites may cause vibrations that are harmful to nearby buildings and people. More and more strictening requirements on environmental issues and people's comfort and welfare and undisturbed living demand better attention to vibration caused by construction work. The purpose of this thesis was to study vibration risk management. A part of this study was to find out what kind of instruments are used for monitoring vibration in construction and blasting sites. The work was commissioned by Suomen GPS-Mittaus Oy.</p> <p>The thesis was limited to cover only vibrations that were caused by rock blasting. Information for the thesis was collected from books, law texts and the manufacturers of vibration monitors. Finally a practical vibration monitoring was carried out in a quarry.</p> <p>The result of this thesis was an informative manual about vibrations which the client organization can utilize in the risk management of vibration and when planning to purchase vibration monitors. All the examined vibration monitors had the same working principles and the only significant difference between them was in their integrated peripherals.</p>			
Keywords vibration blasting			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet.....	6
1.2	Suomen GPS-Mittaus Oy	6
2	TÄRINÄÄ KÄSITTELEVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ.....	7
3	TÄRINÄN LUONNE JA VAIKUTUKSET	9
3.1	Tärinän syntyminen.....	9
3.2	Räjäytystärinän vaikutukset	10
3.2.1	Vaikutukset ihmisiin	10
3.2.2	Vaikutukset rakenteisiin	11
3.2.3	Vaikutukset laitteisiin	11
3.3	Tärinän siirtyminen maassa.....	12
3.4	Tärinän siirtyminen perustuksiin ja rakenteisiin	14
3.5	Tärinän suuruuteen vaikuttavat tekijät.....	15
3.6	Paineaalto.....	15
4	TÄRINÄVAIKUTUSTEN ARVIOINTI	17
4.1	Arvioinnin laajuus ja sisältö	17
4.2	Ohjeavon määrittäminen	19
4.3	Louhintatärinän laskennallinen määrittäminen	21
5	TÄRINÄN MITTAAMINEN.....	24
5.1	Mitattavat suureet	24
5.2	Mittauspisteiden valitseminen.....	24
6	TÄRINÄMITTARIT	26
6.1	Laitevalmistajat	27
6.1.1	Abem Vibraloc	27
6.1.2	Instantel Minimate Plus.....	28
6.1.3	Syscom MR3000C	28
7	TÄRINÄMITTAUS LAAJAKUMMUN MAA-AINESALUEELLA	30
8	YHTEENVETO	33
	LÄHTEET	34

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Louhintatyöstä kuin myös monesta muusta rakennustyöstä syntyy ympäristöön leviävää tärinää. Tärinä voi aiheuttaa vaurioita rakennuksiin ja laitteisiin sekä häiritä ihmisiä. Suomen lakien mukaan työ ei saa aiheuttaa vaaraa tai terveystarpeita ihmisille eikä kohtuutonta haittaa ympäristölleen. Lain rikkoja on vahingonkorvausvastuullinen aiheuttamastaan vahingosta.

Opinnäytetyön tilaajana toimii mittauspalveluiden tuottamiseen erikoistunut insinööri-toimisto Suomen GPS-Mittaus Oy. Yritys aikoo tulevaisuudessa hankkia tärinöiden mittaamiseen soveltuvia laitteita, joita se tulee käyttämään etenkin sellaisilla kiivainesottoalueiden louhintatyömailla, joissa kiinteistöjen läheisyys edellyttää tärinän tarkkailua. Aikaisemmin yritys on vuokrannut tarvittavat laitteet, mutta eri vuokralaitteiden käytön ja tulosten tulkitsemisen ongelmallisuuden johdosta yritys on päättänyt hankkia omat mittalaitteet. Ennen ostopäätöstä yritys kuitenkin haluaa lisätietoja mittalaitteista ja niiden soveltuvuudesta kyseiseen käyttötarkoitukseen.

Opinnäytetyön tavoitteena on paneutua louhintatyöstä aiheutuviin tärinöihin, mittalaitteisiin sekä niiden käyttöön. Tämä tehdään tutustumalla alan kirjallisuuteen sekä testaamalla tärinämittaria myös käytännössä. Työ tulee toimimaan käsikirjana tärinöiden riskinarviointiin sekä käytännön mittausten suorittamiseen. Näin työtä voidaan käyttää myös työntekijöiden perehdyttämisessä.

1.2 Suomen GPS-Mittaus Oy

Suomen GPS-Mittaus Oy on vuonna 1993 perustettu Kuopiossa, Jyväskylässä ja Vantaalla toimiva insinööri-toimisto. Yritys tarjoaa mm. mittauspalveluita, maanrakennustöiden laadunvalvontaa, maaperätutkimuksia, ympäristösuunnittelua sekä maa- ja kiviainestutkimuksia. Yrityksellä on 21 työntekijää ja sen liikevaihto vuonna 2010 oli 1,5 miljoonaa. (Taloussanomien www-sivu.)

2 TÄRINÄÄ KÄSITTELEVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ

Maa-ainelakia (1981/555) sovelletaan soran, hiekan, saven ja mullan ottamiseen ja poiskuljettamiseen tai alueella tapahtuvaan varastointi tai jalostustoimintaan. Lain tavoitteena on säädellä aineiden ottoa ympäristön kestävästä kehityksestä tukevalla tavalla. Lain mukaan toiminnasta ei saa aiheutua vaaraa tai haittaa ympäristölle. Laki ei varsinaisesti käsittele tärinähaittoja, mutta tärinän voidaan katsoa olevan yksi otto-alue toiminnan haitoista. Mikäli toiminta alentaa läheisen kiinteistön arvoa tai aiheuttaa vähäistä suurempaa haittaa, on kiinteistön omistajalla tai haltijalla oikeus saada aineiden ottajalta täysi korvaus haitasta, joka aineiden ottamisesta hänelle aiheutuu. Maa-ainelaki ei koske kaivostoimintaan liittyvää aineiden ottamista eikä vesialueella tapahtuvaa sellaista aineiden ottamista, josta voi aiheutua muutoksia pohjavedelle.

Ympäristönsuojeluasetus (2000/169) määrää eri toimintojen luvanvaraisuudesta. Lain mukaan louhintaan ja murskaukseen täytyy hakea ympäristölupa, mikäli kiviainesta käsitellään vähintään 50 päivää vuodessa. Yli 50 päivää kestävässä toiminnassa luvan myöntää kunnan ympäristönsuojeluviranomainen. Silloin kun toiminta kestää alle 50 päivää, riittää ilmoitus kunnan ympäristöviranomaiselle melua ja tärinää aiheuttavasta tilapäisestä toiminnasta. Ilmoitus on tehtävä viimeistään 30 vuorokautta ennen toimenpiteeseen ryhtymistä tai toiminnan aloittamista.

Lupaa maa-ainesten ottamiseen on haettava kirjallisesti. Valtioneuvoston asetuksessa maa-ainesten ottamisesta (926/2005) määrätään, että lupahakemuksessa täytyy ilmoittaa mm. ympäristöhaittojen vähentämiseksi suunnitellut toimenpiteet, arvio toimitaan liittyvistä riskeistä, onnettomuuksien estämiseksi suunnitelluista toimista sekä suunnitelma toiminnan ympäristövaikutusten tarkkailusta. Luvassa voidaan esittää lupaehdot tärinöiden suhteen sekä rajoittaa toimintaa haittojen ehkäisemiseksi. Laissa ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (713/2006) määrätään, että lupahakemukseen on liitettävä myös laajempi ympäristövaikutusten arviointi (YVA) mikäli kiiven, soran tai hiekanoton louhintai- tai kaivualueen pinta-ala on yli 25 hehtaaria tai otettava ainesmäärä vähintään 200 000 kiintokuutiometriä vuodessa.

Ympäristönsuojelulain (2000/86) tavoitteena on mm. ehkäistä ympäristön pilaantumista sekä poistaa ja vähentää pilaantumisesta aiheutuvia vahinkoja sekä tehostaa ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arviointia ja huomioon ottamista kokonaisuutena. Ympäristön pilaantumisella laissa tarkoitetaan sellaista ihmisen toiminnasta johtuvaa aineen, energian, melun, tärinän, säteilyn, valon, lämmön tai hajun päästämistä tai jättämistä ympäristöön, jonka seurauksena aiheutuu haittaa ihmiselle tai

ympäristölle. Toiminnanharjoittajalla on oltava riittävästi tietoa toimintansa ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista.

Melusta, tärinästä, säteilystä, valosta, lämmöstä tai hajusta aiheutuvan vahingon korvausvelvollisuus on toiminnan harjoittajalla, tähän rinnastettavissa olevalla toimijalla tai toimijalla, jolle toiminta on luovutettu ja joka on ollut tietoinen vahingosta. Laissa ympäristövahinkojen korvaamisesta (1994/737) määrätään myös, että korvausvelvolliset vastaavat yhteisvastuullisesti ympäristövahingosta, jonka asianomaiset toiminnot ovat todennäköisesti yhdessä aiheuttaneet. Ympäristövahinko korvataan mikäli voidaan osoittaa toiminnan ja vahingon välinen yhteys ja kun häiriön sietämistä pidetään kohtuuttomana. Korvausvelvollisen on korvattava korjauskustannukset ja vahingosta aiheutuneet muut kulut sekä arvonalennus taikka tuhoutuneen omaisuuden arvo.

Räjäytystyöt luokitellaan yleisvaarallisiin töihin, joten niihin sovelletaan tuottamuksesta riippumatonta ankaraa vastuuta. Tärinän hallinta tilaajan ja toteuttajan kesken määritellään sopimuksissa. Vastuu ulkopuoliselle on tapauksen mukaan tilaajalla, toteuttajalla tai molemmilla yhteisesti. Vastuu sopimuskumppanille on riippuvainen tuottamuksesta eli se edellyttää huolimattomuutta. Työnantajalla on vastuu työntekijän tekemisistä (RIL 253-2010, 115.)

Tärinää käsitellään epäsuorasti myös kaavoitusta ohjaavassa maankäyttö- ja rakennuslaissa (1999/132). Laki eräistä naapuruussuhteista (1920/26) kieltää maan kaivamisen ja kuormittamisen niin, että toisen maalla oleva rakennus vahingoittuu. Laki työntekijöiden suojelemisesta tärinältä aiheutuvilta vaaroilta (48/2005) käsittelee tärinää työsuojelun näkökulmasta.

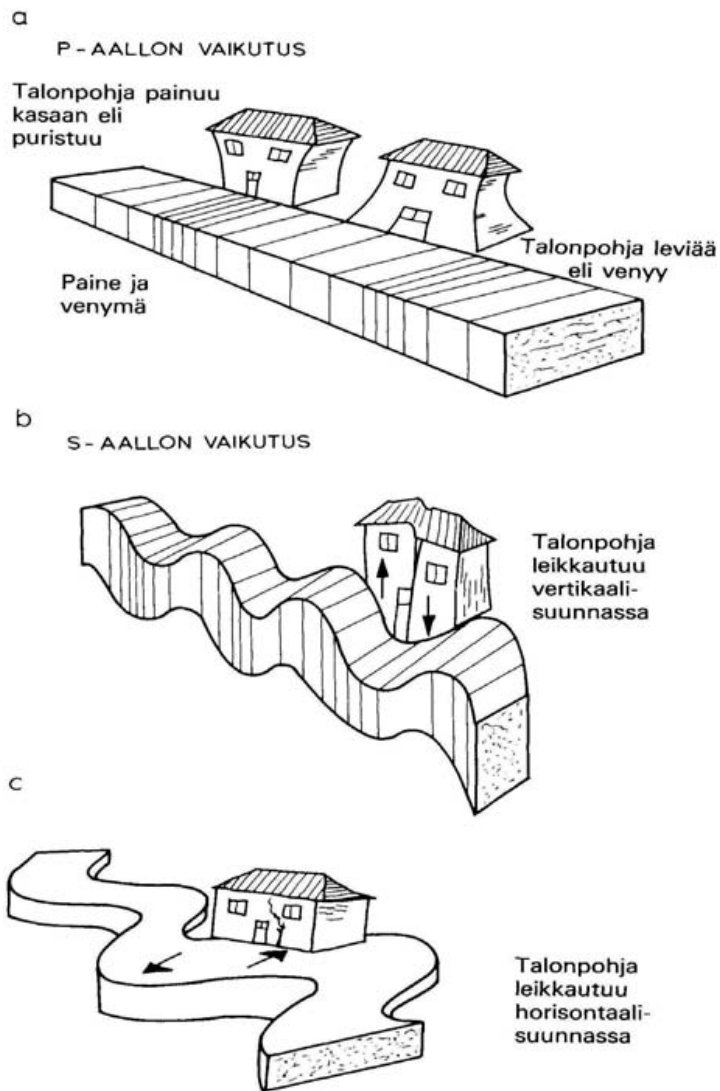
3 TÄRINÄN LUONNE JA VAIKUTUKSET

3.1 Tärinän syntyminen

Tärinä on väliaineeseen syntyvää kimmoista aaltoliikettä, joka aiheuttaa liikettä väliaineen hiukkasissa. Liikkeen nopeuteen vaikuttaa väliaineen ominaisuudet. Kiinteässä kalliassa aallonnopeus on 4 000–5 000 m/s ja eri maalajeissa niiden ominaisuuksista johtuen 50–2 000 m/s. Aallonnopeus on siis sitä suurempi, mitä kiinteämpää väliaine on. (Aatos 2003, 94)

Räjähdyksessä porareissä syntyy lyhytaikainen paineaalto, joka rikkoo kalliota ja saa maan värähtelemään. Räjähdyksessä syntyvä paine-energia kuluu kallion rikkomiseen ja siirtämiseen sekä lopulta tärinästä ympäristössä, jossa se vaimenee etäisyyden kasvaessa. Osa tästä energiasta siirtyy ilmaan ja ilmenee ilmanpaineaaltona. (Aatos 2003, 94.)

Kun aalto on vaimennut niin paljon, että se ei enää aiheuta pysyviä muutoksia maaperässä, katsotaan aallon muuttuneen plastisesta aallosta kimmoaaloksi. Kimmoaaltoa kutsutaan myös tärinäksi. Kimmoaallot voidaan jakaa runko- ja pinta-aaltoihin. Runkoaallot voidaan puolestaan jakaa puristusaaltoihin (P-aallot) sekä leikkausaaltoihin (S-aallot). P-aallossa maan hiukkaset siirtyvät pitkittäisesti eli aallon etenemissuunnassa. S-aalloissa liike on päinvastaista, eli hiukkaset siirtyvät kohtisuorasti etenemissuuntaan nähden. Eri aallot vaikuttavat rakenteisiin eri tavalla (kuva 1). Pinta-aalloista seismisissä tutkimuksissa tärkein on R-aalto, joka syntyy runkoaallon heijastuessa vapaasta pinnasta. (Vuolio & Halonen 2010, 301 - 302)



KUVA 1. Tärinän aiheuttamia liikuntoja talossa. Liikuntojen suuruutta on korostettu (Vuolio 1991, 167)

3.2 Räjäytystärinän vaikutukset

3.2.1 Vaikutukset ihmisiin

Ihminen on herkkä havaitsemaan tärinää ja suhtautuu siihen tunnepitoisesti. Tärinän kanssa samaan aikaan ilmenevä ääni sekä paineilmiöt tekevät tärinätuntemuksesta entistä epämiellyttävämmän. Yhdysvaltalaisen Bureau of Minesin tutkimusten mukaan jo 0,1 mm/s heilahdusnopeus voi aiheuttaa astioiden kilinää ja 6 mm/s nopeus voi liikuttaa huonekaluja. Ihminen siis pystyy havaitsemaan pieniäkin tärinöitä, jotka ovat huomattavasti kosmeettisia vaurioita aiheuttavan tärinän alapuolella, mutta eri yksilöt kokevat sen häiritsevänä vasta silloin kun heilahdusnopeuden arvo on 5-10 mm/s. Tärinästä aiheutuvaa

haittaa ihmiselle voidaan vähentää tiedottamalla mahdollisesta tärinähaitasta hyvissä ajoin etukäteen. (Vuolio & Halonen 2010, 316; Pöllä ym. 1996, 100.)

3.2.2 Vaikutukset rakenteisiin

Tärinä voi aiheuttaa vaurioita rakenteisiin siitä aiheutuvien venymien, repeämien tai taipumisien kautta. Rakenne vaurioituu, kun kuormituksen aiheuttama jännitys ylittää rakenteen lujuuden. Vaurioiden synty ei riipu pelkästään tärinän suuruudesta, vaan niiden syntymiseen vaikuttavat myös rakenteen oma paino ja muut kuormitukset. Rakenteen tärinänkestoon vaikuttavat myös rakenteen kunto ja ominaisuudet. Huonokuntoinen ja ennestään halkeillut rakenne on vaurioalttiimpi kuin uusi rakenne, jolla ei ole niin laajaa aikaisempaa kuormitushistoriaa. On tärkeää, että kaikkiin tärinälle altistuviin rakennuksiin tehdään katselmus, jossa todetaan rakennuksessa ennen tärinäaltistusta ilmenevät vauriot. Tämä helpottaa räjäytystöiden aiheuttamiksi väitettyjen vaurioiden korvauskysymysten ratkomista. (RIL 253-2010, 20-21; Vuolio & Halonen 2010, 317.)

Halkeamat syntyvät kuormituksen aiheuttamista jännityksistä, jotka ylittävät rakennemateriaalin lujuuden, joka on yleensä materiaalin vetolujuus. Tämän vuoksi vaurioalttiita ovat etenkin rakenteet, joilla on heikko vetolujuus. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi tiili- ja betonirakenteet. (RIL 253-2010, 20-21)

Tärinäkuormitus ei aina ole ainut syy halkeamien syntyyn, vaan syynä voi olla esimerkiksi perustusten epätasaiset painumat, lämpötilaeroista johtuvat rasitukset, suunnittelu- ja työvirheet, veden jäätyminen rakenteessa, routiminen, ylikuormitus tai kosteusmuutokset. (RIL 253-2010, 20-21.)

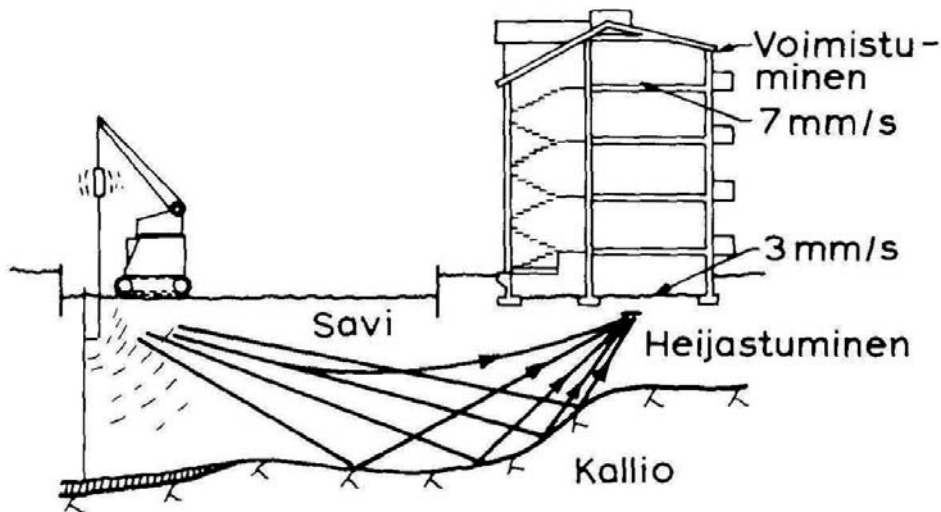
3.2.3 Vaikutukset laitteisiin

Tärinälle herkkiä laitteita ovat esimerkiksi tietokoneet, mikroskoopit ja mittalaitteet. Erityisen tarkkana on oltava louhittaessa prosessilaitoksen, kuten esimerkiksi paperitehtaan läheisyydessä. Tärinäherkkien laitteiden vauriot voidaan estää eristämällä tärinän aiheuttaja ympäristöstään tekemällä avoin rako maan ja suojeltavan rakennuksen välille. Mikäli mahdollista, laitteet voidaan myös sammuttaa tai siirtää pois räjähdysten ajaksi. Paras ja suosituin

menetelmä on suojella tärinäherkkää laitetta eristämällä se ympäristöstään tärinävaimentimella. Tärinävaimennin on usein valmistettu kumista ja otollisimmissa olosuhteissa sillä voidaan päästä 70–90%:n vaimennussuhteeseen. (Vuolio & Halonen 2010, 344.)

3.3 Tärinän siirtyminen maassa

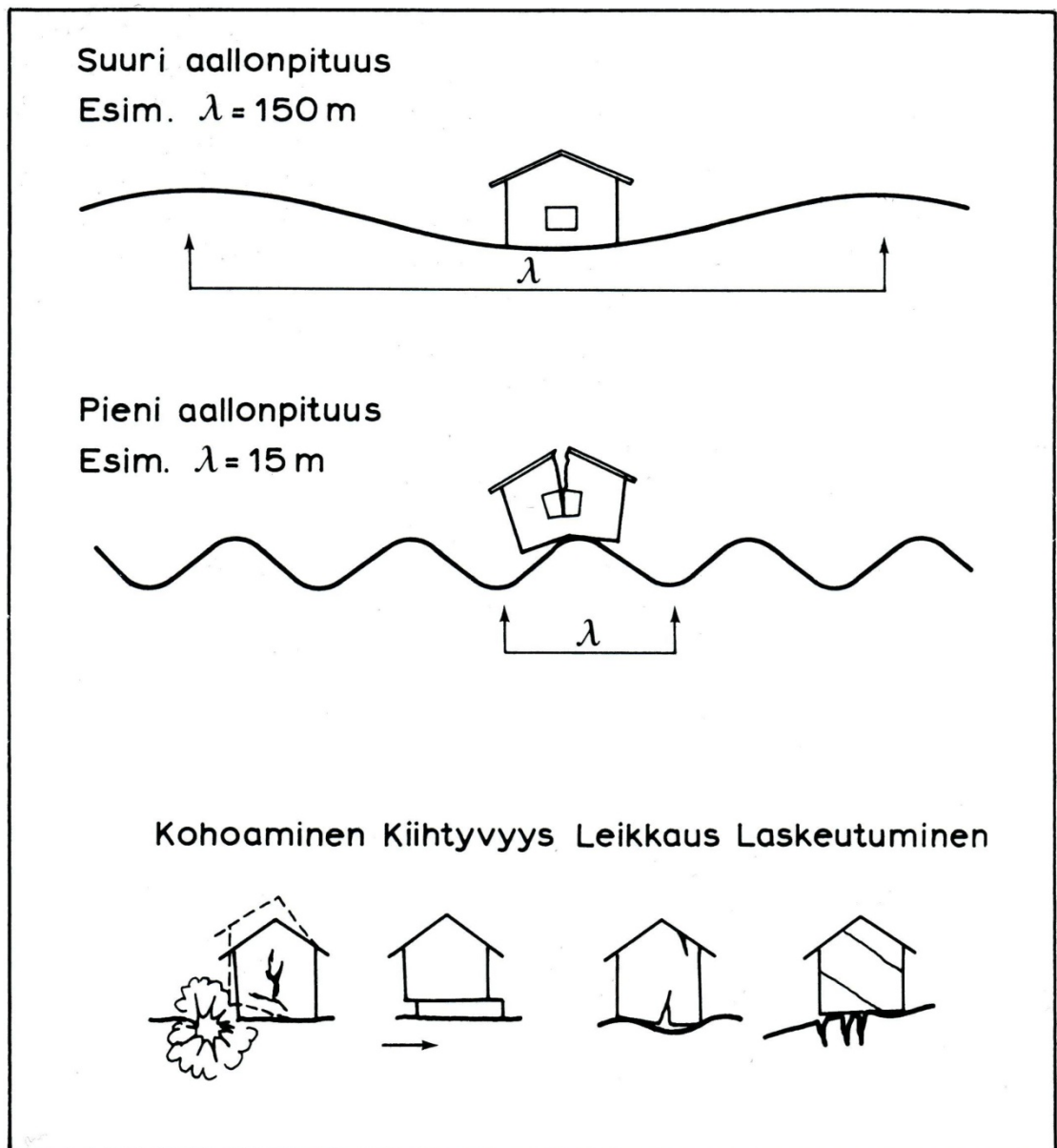
Kimmoaallot voivat edetä maaperässä kolmella eri tapaa. Aalto voi edetä suoraviivaisesti tai kohdatessaan vapaan pinnan joko heijastumalla (kuva 2) tai taittumalla. Ainoastaan suoraviivaisesti kulkevissa aalloissa leikkaus pysyy leikkauksena ja puristus puristuksena. Heijastuessaan tai taittuessaan aallon ominaisuudet muuttuvat, jolloin esimerkiksi P-aalto voi jakautua vain heijastuneeksi ja taittuneeksi P-aalloksi. Heijastuminen ja taittuminen vaikuttavat myös aaltojen keskinäiseen etenemiseen maassa. Tavallisesti nopeimmin maassa etenevät P-aallot ja niiden perästä tulevat S-aallot, joita seuraavat R-aallot. Suoraviivaisesti etenevien nopeiden P-aaltojen jälkeen mittaustaikpaikkaan saapuu lähellä mittauskohdetta heijastuneita P- ja S-aaltoja. Näiden aaltojen jälkeen saapuvat suoraviivaisesti kulkevat S-aallot perässään kauempana mittaustaikpaikkaa taittuneet tai heijastuneet P- ja S-aallot. Viimeisenä mittaustaikpaikkaan saavuttavat R-aallot. (Vuolio & Halonen 2010, 300)



KUVA 2. Heijastuminen kalliosta (Vuolio 1991, 167)

Tärinän etenemiseen vaikuttavat maa- ja kallioperän ominaisuudet kuten maalajin tyyppi ja rakeisuus, kerroksellisuus, vesipitoisuus, tiiveys ja lujuus sekä kallion rapau-

tuneisuus ja rakoilu. Perustan olosuhteet ovat tärkein aaltoliikkeen etenemisnopeuteen vaikuttava tekijä. Etenemisnopeus on pienin pehmeillä maalajeilla. Etenemisnopeus vaikuttaa syntyvään aallonpituuteen siten, että mitä hitaampi etenemisnopeus on, sitä pienemmän aallonpituuden se synnyttää. Pienempi aallonpituus on vaarallisempi rakennuksille, sillä tällöin rakennus ei voi ratsastaa aallolla, jolloin sen toinen osa kohoaa ja toinen laskee (kuva 3). Perustan kosteus ja tyyppi puolestaan vaikuttavat syntyviin aaltotyyppeihin sekä taajuuteen. Kallio- ja maaperän topografia aiheuttavat seismisten aaltojen heijastumista. Myös perustan lämpötila ja vaimennusolosuhteet ovat merkittäviä tekijöitä. (Vuolio & Halonen 2010, 301 - 302.)



KUVA 3. Aallonpituuden vaikutus rakennevaurioissa ja vaurioiden syitä (Vuolio 1991, 168)

Tärinä leviää parhaiten pehmeissä maalajeissa kuten savessa. Tämä johtuu siitä, että pidemmillä matkoilla savimailla dominoivat matalataajuuksiset aallot, jotka vaimenevat hitaammin kuin korkeataajuuksiset aallot. Karkearakeisissa maalajeissa kuten sorassa ja hiekassa, kalliossa ja moreenissa tärinän siirtyminen on vähäisempää. Tärinän suuruus pienenee nopeasti mitä kauemmaksi tärinälähteestä mennään. (Talja 2004, 39.)

3.4 Tärinän siirtyminen perustuksiin ja rakenteisiin

Tärinä siirtyy maasta rakennuksen perustuksiin ja edelleen rakennuksen runkoon tai lattiaan, jolloin sen suuruus sekä taajuussisältö muuttuvat. Tärinän siirtymisen maasta rakenteisiin määrää tärinän taajuuden ja rakenteiden ominaistaajuuksien suhde. Maasta perustuksiin siirtyvään tärinään vaikuttavat taajuussuhteiden lisäksi rakennuksen muodot ja massa, perustamistapa ja perustusten jäykkyys sekä maaperän värähtelyn suuruus, aallonpituus, suunta ja taajuus. Värähtelyn edetessä perustuksista ylöspäin, siirtyvään tärinään vaikuttavat rungon ja lattian dynaamiset ominaisuudet kuten niiden massa ja jäykkyys sekä perustuksilta siirtyvän värähtelyn ominaisuudet. (Talja, Vepsä, Kurkela & Halonen 2008, 24.)

Pääsääntönä voidaan pitää, että mitä kookkaampi ja massiivisempi rakennus ja sen perustukset ovat, sitä vähemmän alttiimpi se on tärinälle. Perustusten ollessa kevyitä ja joustavia, kuten muurattuja kivi- tai tiiliperustuksia tai vain vähän tai kokonaan raudoittamattomia betoniperustuksia, tärinän vaikutus perustuksiin on kuin ohi ajavan laivan aallon vaikutus pieneen ja joustavaan ponttonilaituriin. Kookkaat ja jäykät perustukset, kuten hyvin taivutusta, puristusta, leikkausta ja vetoa kestävä teräsbetoniperustukset vaimentavat värähtelyä, jolloin värähtelyn vaikutusta voidaan verrata meren aaltojen vaikutukseen raskaan tankkilaivan runkoon. Perustusten paalutus ei juurikaan vaimenna tärinää, ellei rakennus ole eristetty riittävästi maakontaktista. (Talja 2008, 125; RIL 253-2010, 67 - 69.)

Perustuksissa tärinän suuruus on yleensä korkeintaan yhtä suurta kuin maassa, mutta ylärakenteisiin siirtyessä värähtely voi resonanssin takia voimistua merkittävästikin. Resonanssi syntyy silloin, kun maaperän jokin taajuus sattuu lähelle rakenteen tai rakenneosan omaa värähtelytaajuutta, ns. ominaistaajuutta. Tällöin värähtely voi voimistua jopa kymmenkertaiseksi. Resonanssin syntymistä on vaikea arvioida, sillä maaperän värähtely sisältää eritaajuuksisia värähtelykomponentteja, jotka käyttäytyvät eri tavoin maaperän laadusta ja rakennuksen ominaisuuksien mukaan. Mikäli

värähtelytaajuus on ominaistaajuuden alapuolella, komponentit eivät juuri muutu. Ominaistaajuuden yläpuolella komponentit voivat puolestaan pienetä jopa kymmenesosaan. Varsinainen resonanssitilanne voi syntyä vain silloin, kun värinäkuormitus on jatkuvaa, joten yksittäinen louhintatyössä syntyvä värinäkuormitus ei yleensä riitä resonanssin kehittymiseen, mutta voi saada aikaan rakenteiden ominaisvärähtelyn, joka kestää vaimentumisesta riippuen useita sekunteja. Tällöin ylärakenteiden värinäkuormitus voi aiheuttaa ylärakenteissa resonanssin kaltaista värähtelyn voimistumista. (Talja 2008, 127 - 128; Vuolio & Halonen 2010, 309.)

3.5 Tärinän suuruuteen vaikuttavat tekijät

Räjähdyksessä ympäristön leviävän rakenteisiin ja laitteisiin vaikuttavan tärinän suuruuden voidaan katsoa johtuvan seuraavista tekijöistä (Vuolio & Halonen 2010, 325 - 326):

- räjäytys- ja mittauskohteen välinen etäisyys
- kallioperän ominaisuudet
- maalajin ominaisuudet
- samanaikaisesti yhdessä porausreiässä syttyvän panoksen suuruus
- räjäytyspanoksen asento suojeltavan kohteen suhteen
- räjäytyspisteen ja mittauspisteen välinen kallionpinnan topografian vaihtelu
- samaan aikaan räjähtävien eri porareikien panosten yhteisvaikutus

Kaikkien tärinän suuruuteen vaikuttavien tekijöiden huomioonottaminen matemaattisesti tärinöitä arvioitaessa on mahdotonta. Pelkästään roudan vaikutuksesta heilahdusnopeuden arvot voivat vahvistua 1,2–1,5-kertaisiksi. Tarkimpaan arvoon päästään silloin, kun räjäytysalueella tehdään koeräjähdyksiä ja mittauksia, joiden avulla voidaan arvioida tärinän leviäminen ympäristöön. (Vuolio & Halonen 2010, 325 – 326.)

3.6 Paineaalto

Räjähdyksessä syntyy tärinän lisäksi myös ilman värähtelyä. Värähtely on osittain kuuloalueella ja osittain sen alapuolella. Kuuloalueella olevan värähtelyn havaitsemme räjähdyksessä meluna. Matalataajuisista kuuloalueen alapuolella olevaa värähtelyä kutsutaan ilmanpaineaalloksi. Ilmanpaineaallon vaikutus kohdistuu lähinnä ikkunoihin. Ilmanpaineelle ei ole annettu raja-arvoja, mutta karkean arvion mukaan huono-

kuntoisimmat ikkunat rikkoutuvat paineen ollessa 0,7 - 1 kPa. Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan rakennuksen häiriöraja-arvona voidaan pitää 0,4 kPa:n ylipainetta, mutta valituksia ympäristöstä voi tulla tätäkin alhaisemmilla painetasoilla. Ylipaineen suuruuden arviointi on vaikeaa, sillä sen siihen vaikuttavat mm. säätila, maastonmuodot, esteet sekä paineaallon tulosuunta. Karkea arvio voidaan tehdä käyttämällä mittaus-tuloksien perusteella empiirisesti saatuja kaavoja. Alla olevat kaavat soveltuvat ilmanpaineen suuruuden arviointiin silloin, kun räjähdysaine on suljetussa panostilassa. (Aatos 2003, 100; Ympäristöasioiden hallinta kiviainestuotannossa 2010, 38; Vuolio & Halonen 2010, 336)

$$P = 3,3 \left(\frac{R}{Q^{\frac{1}{3}}} \right)^{-1,2} \quad (1)$$

$$P = 70 \frac{\left(\frac{Q}{150} \right)^{\frac{1}{3}}}{R} \quad (2)$$

Kaavoissa P [kPa] kuvaa ylipaineen suuruutta, R [m] etäisyyttä räjähteestä ja Q [kg] räjähteen massaa (RIL 253-2010, 103).

Suurin ilmapaine syntyy, kun räjäytetään ilmassa tai pintapanoksena. Suuruutta voidaan pienentää minimoimalla räjähtävän tulilangan käyttö, kasvattamalla ominaispo-rausta sekä pienentämällä kerralla räjähtävää räjähdysaineen määrää. (Ympäristö-asioiden hallinta kiviainestuotannossa 2010, 38.)

4 TÄRINÄVAIKUTUSTEN ARVIOINTI

4.1 Arvioinnin laajuus ja sisältö

Tärinävaikutusten arvioinnin tavoitteena on selvittää tärinäkuormitukset kohteen ympäristössä sekä määrittellä toimenpiteet siitä syntyvien ympäristöhaittojen minimoimiseksi. Alueella olevien rakennusten lisäksi on otettava huomioon alueella mahdollisesti olevat muut laitteet sekä tärinälle herkät toiminnot. (RIL 253-2010, 31.)

Tärinävaikutusten arviointi on usein suunnitelma-asiakirjoihin sisältyvä kokonaisuus, joka ohjeistaa työn suorittamisessa vahinkojen välttämiseksi. Louhinnassa tärinävaikutusten arviointi on osa ympäristövaikutusten arviointia ja siihen liittyy myös toiminnasta aiheutuvat muut haitat kuten esim. melu, pölyäminen, kivien sinkoilu ja ilmanpaineaallon vaikutus. Tärinävaikutusten arvioinnin sisältö riippuu hankkeesta. Tärinän vaikutusten arvioinnin helpottamiseksi hankkeet luokitellaan kolmeen eri vaatimusluokkaan (taulukko 1). (RIL 253-2010, 31.)

TAULUKKO 1. Vaatimusluokkien määräytyminen (RIL 253-2010, 15)

	A Lyhytaikainen tärinävaikutuksen kesto, pienet suoritemäärät	B Tavanomainen tärinävaikutuksen kesto, keskimääräiset suoritemäärät	C Pitkä tärinävaikutuksen kesto, suuret suoritemäärät
Tärinän vaikutusalueella ei ole tärinästä häiriintyviä erityisiä luonnonarvoja tai ihmisiä tai vaurioituvia rakenteita tai rakennuksia	1	1	2
Kohde on asutulla alueella, tavanomaisia rakennuksia tai rakenteita	2	2	3
Lähellä on tärinäherkkiä rakenteita ja erityistä varovaisuutta edellyttäviä kohteita	3	3	3

Ohjeelliset tärinävaikutusten arvioinnin tehtävät määräytyvät vaatimusluokkien perusteella (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Ohjeelliset värinävaikutusten arvioinnin tehtävät (RIL 253-2010, 32)

Tehtävä	Ohjeellinen sisällyttäminen arviointiin eri vaativuusluokissa		
	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3
1. Rakennuskohteen ja ympäristön geologia, topografia ja maankäyttö		x	x
2. Värinälähteet, niiden luonne	x	x	x
3. Värinän voimakkuuden arviointiperusteet		x	x
4. Värinävaikutusten arvioinnin alue	x	x	x
5. Selvitys tarkastelualueella olevista värinästä vaurioituvista kohteista ja toiminnot, joihin värinän vaikutus on otettava huomioon		x	x
6. Värinän suurimman ohjearvon suuruuden määritysperusteet, ohjearvot		x	x
7. Riskien arviointi			x
8. Esitys värinän mittaamiseksi ja värinävaikutusten tarkkailuksi		x	x
9. Katselmusalueen ja tarvittaessa katselmusten suoritustavan määrittäminen	(x)	x	x
10. Toimenpiteet värinäherkkien laitteiden suhteen		x	x
11. Toimenpiteet tiedottamiseksi	x	x	x
12. Toimenpiteet työskentelyajankohdista sopimiseksi		x	x
13. Värinän vähentämismahdollisuuksien selvittäminen		x	x

Värinävaikutusten arvioinnin aluerajaus louhintatöissä voidaan määrittää taulukosta kolme. Arviointi tulee kuitenkin tehdä vähintään samalla laajuudessa kuin muut työn suoritukseen liittyvät katselmuksat. Tarkempi kuva värinän suuruudesta alueella saadaan tekemällä ennakkokokeita. Värinäalue esitetään kirjallisesti esimerkiksi karttapohjalla. (RIL 253-2010, 34.)

TAULUKKO 3. Aluerajaus louhintatyössä. Kuvaa on muokattu alkuperäisestä (RIL 253-2010, 33)

Syntyvän tärinän luonne	Vaativuusluokka 1	Vaativuusluokka 2	Vaativuusluokka 3
Tärinä voi olla havaittavissa vielä n. 100 m:n etäisyydellä, louhinta asutuskeskuksessa tai kunnallistekniikkaan liittyvä louhinta	Lähimmät kohteet eri suunnissa, ei kuitenkaan yli 50 m:n etäisyydellä	Alue 50–100 m:n etäisyydellä	Alue 50–100 m:n etäisyydellä sekä 100–200 m:n etäisyydellä erityisen tärinäherkät kohteet
Tärinä voi olla havaittavissa jopa kilometrien päässä, massalouhinta	Lähimmät kohteet eri suunnissa	Suurimpien räjäytyskenttien räjähdysainemäärästä riippuva alue	Suurimpien räjäytyskenttien räjähdysainemäärästä riippuva alue Kauempaa myös erityisen tärinäherkät kohteet erillisen selvityksen mukaan

Muissa kuin louhintatöissä arviointi voidaan tehdä käyttämällä työmenetelmäkohtaisia tärinänennustuskäyriä. Yleensä tarvittava vaikutusten arvioinnin etäisyys ei kuitenkaan ole yli 50m:ä lukuun ottamatta pudotustiivistystä ja suuriläpimittaisten kärjestään suljettujen paalujen lyöntipaalutustyötä. (RIL 253-2010, 33.)

4.2 Ohjearvon määrittäminen

Rakenteen tärinänkestävyyttä arvioidaan laadittujen ohjearvojen perusteella, jotka määrittää tärinäasiantuntija. Tärinävaikutusten arvioinnissa tai työsuunnitelmissa voidaan esittää menettelytavat, mikäli mitattu tärinä ylittää määritetyn ohjearvon. Arvot on määritetty pääasiassa perustuksille, joista tärinä etenee rakenteisiin. Perustuksille käytetään tärinän kriteerinä heilahdusnopeuden suurimman komponentin arvoa. Ohjearvot ovat ohjeellisia hyvää rakennustapaa edustavia arvoja ja ne on esitetty erikseen sekä louhintatärinän että muiden maa- ja pohjatöiden tärinöiden arvioimiseen. Tässä opinnäytetyössä keskitytään ainoastaan louhinnasta aiheutuvien tärinöiden arvioimiseen. (RIL 253-2010, 19, 38.)

Rakennuksiin kohdistuvan heilahdusnopeuden v (mm/s) suurin ohjearvo lasketaan kaavalla

$$v = F_k \times v_1 \quad (3)$$

F_k rakennustapakerroin (taulukko 4)

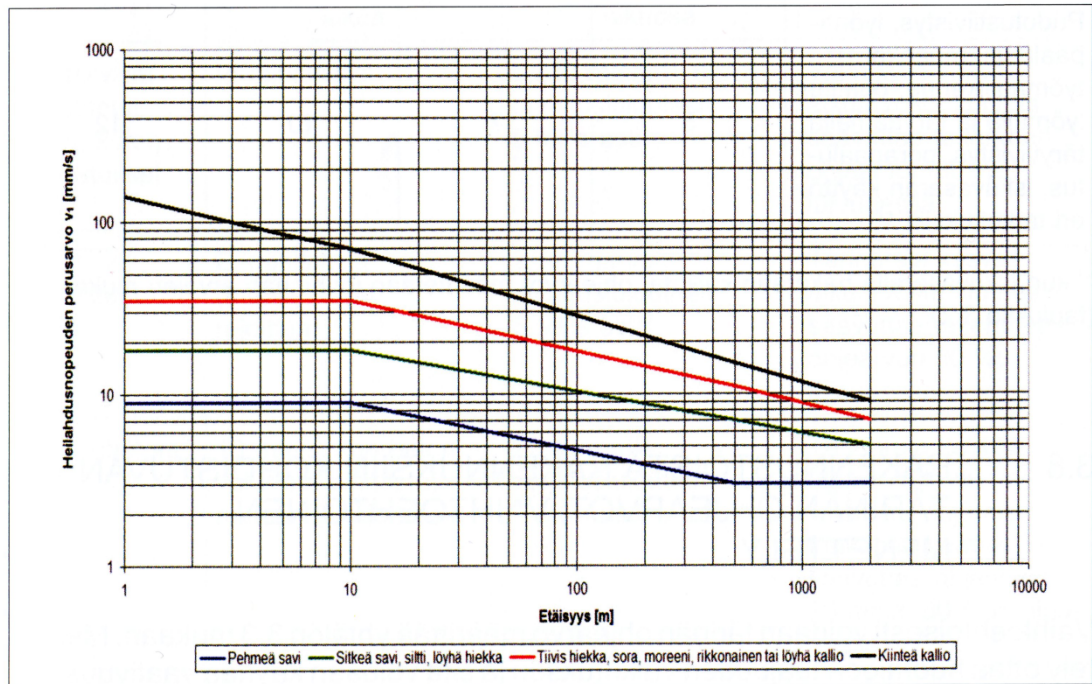
v_1 heilahdusnopeuden perusarvo (mm/s) Tärinän taajuuden vaikutus rakenteiden rasitukseen on huomioitu heilahdusnopeuden perusarvoissa (kuva 4)

TAULUKKO 4. Rakennustapakertoimet (RIL 253-2010, 24)

Rakenneluokka (hyväkuntoinen rakenne)	Rakennustapakerroin F_k , (kelpoisuus a-luokka)	Rakennustapakerroin F_k , (kelpoisuus aa-luokka)
1. Raskaat teräsbetoni- ja teräsrakenteet, kuten sillat ja laiturit	1,75	2,00
2. Teräsbetoniset, teräksiset ja puurakenteiset teollisuus- ja varastorakennukset, ruiskubetonoidut kalliotilat (ks. myös kohta 3.9), yleensä staattisesti määrätty rakenteet, joissa ei asuta tai työskennellä	1,25	1,50
3. Pilariperustuksille rakennetut elementtirakenteiset teräsbetonirakenteet, teräs- ja puurakenteiset toimisto- ja asuinrakennukset, muut puu- ja teräsrakennukset, johdot ja maakaapelit (ks. myös kohta 3.9)	1,00	1,20
4. Massiiviseinäiset tiili-, kevytsoraharkko- ja teräsbetonirunkoiset teollisuus-, toimisto- ja asuinrakennukset, lasiseinäiset teräsrunkoiset sekä tiiliverhotut puurunkoiset rakennukset, ruiskubetonoimattomat kalliotilat (ks. myös kohta 3.9)	0,85	1,00
5. Rakennukset, joissa on kevytbetoni- tai kalkkihiekkatiilirakenteita, tai muuta vaurioherkkää materiaalia, tärinä- ja värähtelyherkät vanhat rakennukset, kuten kirkot tai korkeita holveja käsitävät rakenteet	0,55	0,65

Laskuesimerkki: Räjätetään kenttä 30 metrin päässä moreenimaalle perustetusta hyväkuntoisesta tiilirunkoisesta rakennuksesta. Määritetään rakennustapakerroin taulukosta neljä ja heilahdusnopeuden perusarvo kuvasta neljä. Saadaan

$$v = F_k \times v_1 = 0,85 \times 26 \approx 22 \text{ mm/s}$$



KUVA 4. Heilahdusnopeuden perusarvot eri etäisyyksillä ja eri maalajeilla (RIL 253-2010, 25)

4.3 Louhintatärinän laskennallinen määrittäminen

Louhintatärinän laskennallisesti saatua ennustetta voidaan käyttää hyväksi louhintatyötä suunniteltaessa. Laskennallisesti saatu ennuste ei saa ylittää määritettyjä ohjearvoja. Ennustetta voidaan käyttää myös arvioitaessa mahdollisia tärinävaurioita paikoilla, joissa ei ole käytetty tärinämittausta. Tällöin joudutaan arvioimaan miten suurta tärinää kirjausten mukaiset räjäytykset ovat voineet aiheuttaa. (RIL 253-2010, 81.)

Ennuste heilahdusnopeuden huippuarvosta alle sadan metrin etäisyyksillä lasketaan kaavalla

$$v = k x \sqrt{\frac{Q_m}{R^{1,5}}} \quad (4)$$

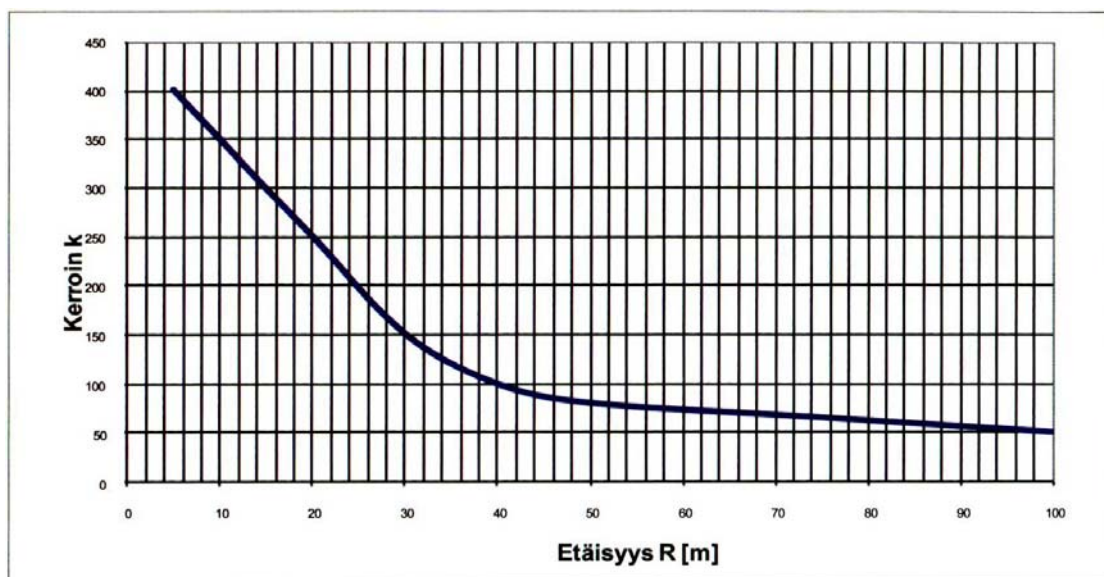
k väliaineen tärinänjohtavuutta kuvaava kerroin (kaavio 1)

Q_m momentaanisesti räjähtävä räjähdysainemäärä (kg)

R tarkastelupisteen etäisyys räjähdyskohteesta (m)

Kerroin k on tarkastelupisteen (rakenteen) perustamistavasta, kallion laadusta, etäisyydestä ja räjäytystavasta riippuva kerroin. Kiinteälle kalliolle rakennettu rakennus, joka sijaitsee lähellä räjäytystä, saa suurempia k -arvoja kuin rakennus, joka on perus-

tettu maanvaraisesti ja sijaitsee kauempana räjäytyksestä. Alle kymmenen metrin etäisyyksillä k :n arvona voidaan käyttää arvoa 400. (RIL 253-2010, 82.)



KAAVIO 1. Kokemusperäisiä k :n arvoja pengerlouhintaan (RIL 253-2010, 83)

Momentaanisesti räjähtävä räjähdysainemäärä Q_m tarkoittaa mittauskohteessa samanaikaisesti vaikuttavaa räjähdysainemäärää, joka synnyttää suurimman värinäärvon räjähdyskentässä räjähtävien panosten värinähuipuista. Tämä määrä voi pienimillään olla yhdessä panosreiässä räjähtävä räjähdemäärä tai suurimmillaan koko kentän räjähdysainemäärä. Momentaaninen räjähdysainemäärä on siis riippuvainen panosten ajoituksista sekä reikien sijainneista. Nyrkkisääntönä alle 100 metrin etäisyyksillä käytetään, että enintään 8 ms:n aikaerolla eri panostiloissa räjähtävät panokset vaikuttavat värinän kannalta samanaikaisesti. (Vuolio & Halonen 2010, 326.)

Laskuesimerkkejä

1. Louhintatärinän ennustaminen

Räjäytetään etäisyydellä 30 m kenttä, jossa momentaaninen räjähdysainemäärä on 4 kg. Kuvasta viisi saadaan k :n arvo 150. Tällöin kaavaa neljä käyttämällä saadaan

$$v = k \times \sqrt{\frac{Q_m}{R^{1,5}}} = 150 \times \sqrt{\frac{4,0}{30^{1,5}}} \approx 23 \text{ mm/s}$$

Oletetaan, että kyseessä sama tilanne kuin kappaleen 4.2.1 laskuesimerkissä, jolloin ohjearvo 22 mm/s ylittyy. Tällöin momentaanista räjähdysainemäärää on pienennettävä.

2. Momentaanisen räjähdysainemäärän laskeminen

Lasketaan momentaaninen räjähdysainemäärä esimerkin yksi mukaisessa tilanteessa. Tällöin värinän huippuarvoksi v otetaan kappaleessa 4.2.1 laskettu ohjearvo. Nyt $v = 22$ mm/s, $k = 150$ ja $R = 30$ m. Sovelletaan kaavaa neljä

$$Q_m = \frac{v^2}{k^2} \times R^{1,5} = \frac{22^2}{150^2} \times 30^{1,5} \approx 3,5 \text{ kg}$$

3. K-arvon määrittäminen, kun värinämittauksia on tehty

Kun räjäytyksen aiheuttama värinä alueella on mitattu, voidaan laskea tarkempi k :n arvo, jota voidaan käyttää laskettaessa alueen muiden räjäytyksien värinöitä. Oletetaan, että värinä esimerkin yksimukaisessa tilanteessa on mitattu ja arvoksi on saatu 15 mm/s. Momentaanisena räjähdysainemääränä käytetään esimerkissä kaksi laskettua korjattua määrää. Nyt $v = 15$ mm/s, $R = 30$ m, $Q_m = 3,5$ kg. Soveltaen kaavaa neljä saadaan

$$k = \frac{v}{\sqrt{\frac{Q_m}{R^{1,5}}}} = \frac{15}{\sqrt{\frac{3,5}{30^{1,5}}}} \approx 103$$

5 TÄRINÄN MITTAAMINEN

5.1 Mitattavat suureet

Tärinämittaukset toimivat apukeinona räjäytyksen aiheuttaman tärinän vahingollisuuden arvioinnissa sekä rakenteiden ja laitteiden vaurioiden minimoimisessa. Tärinämittauksin valvotaan, että syntyvän räjähdystärinän voimakkuus ei ylitä rakennuttajan tai suunnittelijan antamia tärinän ohjearvoja. Toisaalta mittauksilla voidaan varmistaa, että louhintatyötä ei tehdä liian varovaisesti ja epätaloudellisesti. (Pöllä, Kärnä, Vuolio, Paavola & Räsänen 1996, 83.)

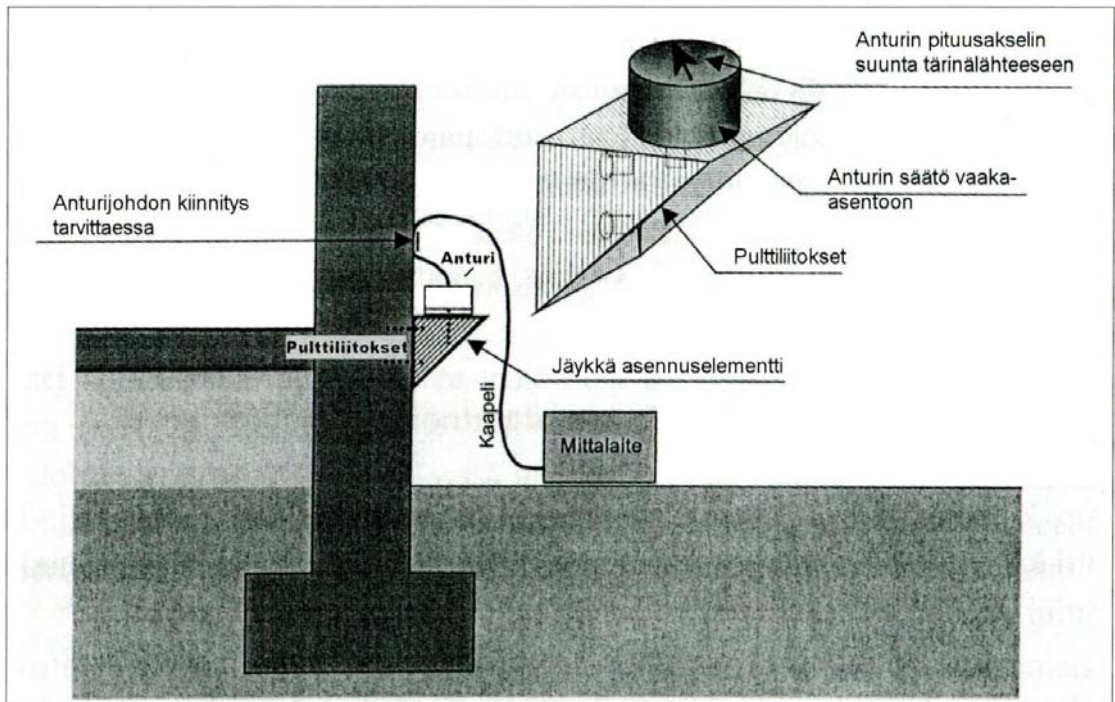
Suurin osa nykyisistä tärinämittareista mittaavat tärinän heilahdusnopeuden kolmeen suuntaan, eli pitkittäiseen, poikittaiseen ja pystysuuntaan. Lisäksi ne mittaavat tärinän taajuuden, kiihtyvyyden sekä amplitudin. Rakenteiden vaurioitumisen ehkäisemiseksi annettavat arvot ilmaistaan heilahdusnopeuden maksimiarvona v_{max} [mm/s], koska heilahdusnopeus antaa parhaan kuvan tärinän vaarallisuudesta. Suomessa merkittävimpänä pidetään heilahdusnopeuden pystykomponentin maksimiarvoa. Louhintatärinän suuruutta muulla tavoin mittaamalla hankaloittaa louhinnasta syntyvä epäsuorallinen useita eri taajuuksia ja tärinähuippuja käsittävä tärinä. Taajuuden vaikutus on Suomessa muiden Pohjoismaiden tapaan otettu huomioon epäsuorasti, sisällyttämällä se heilahdusnopeuden arvon määrittämiseen rakenteen ja räjäytyspisteen väliseen etäisyyteen sidottuna. (Pöllä ym. 1996, 83 – 84.)

Herkkien laitteiden tärinämittauksessa käytäntö mitattavien suureiden ja käytettyjen mittaustapojen valinnassa vaihtelee. Yleensä jokaiselle laitteelle on määritetty ohjearvot, jotka on määrittänyt joko valmistaja tai maahantuojat. Herkkien laitteiden ohjearvot on yleensä määritetty suurimpana sallittuna kiihtyvyyden arvona a_{max} [g tai m/s^2] tai siirtymän A_{max} [mm] avulla. (Pöllä ym. 1996, 84.)

5.2 Mittauspisteiden valitseminen

Mittauspisteiden valinnalla on suuri vaikutus tärinän suuruuteen ja rekisteröitymiseen rakennusten yksilöllisten ominaisuuksien vuoksi. Tärinä pyritään rekisteröimään mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ennen kuin rakennuksen ominaisuudet vaikeuttavat tulosten tulkintaa. Tämä tarkoittaa sitä, että mittauspiste valitaan lähes poikkeuksetta lähinnä räjäytystä olevasta rakennuksesta ja mahdollisimman läheltä ra-

kennuksen pohjatasoa eli perustuksista tai kantavavasta rakenteesta läheltä perustusta. Muissa rakennuksissa tärinä mitataan, jos voidaan rakennuksen huonon kunnon tai tärinälle otollisten maaperäolosuhteiden takia olettaa rakennukselle kohdistuvan vaarallisempia tärinöitä kuin lähinnä räjäytyskenttää olevalle rakennukselle. Jos riskianalyysin kattavalla alueella ei ole rakennuksia, mitataan tärinä riskialueella sopivalta paikalta maa- tai kallioperästä. Jotta mittaustulos olisi luotettava, on anturin oltava vaakatasossa kiinnitettynä jäykkään alustaan (kuva 5). (Ympäristöasioiden hallinta kiviainestuotannossa 2010, 42; Pöllä ym. 1996, 85.)



KUVA 5. Anturin kiinnitys perusmuuriin (RIL 253-2010, 79)

Lisää mittaukseen. Mikäli samalla mitataan ilmanpaineen suuruutta, on mikrofoni asetettava siten, ettei mikrofonin ja räjäytyksen välissä ole esteitä. Jos estettä ei voida välttää, tulee esteen ja mikrofonin välisen vaakasuoran etäisyyden olla suurempi kuin esteen mikrofonin yläpuolella olevan osan korkeus. Mikrofonia ei myöskään pidä asettaa liian lähelle rakennusta, jolloin rakenteista heijastuvat paineaallot pääsevät sotkemaan mittaustulosta. (RIL 253-2010, 105.)

Tärinäherkkien laitteiden tärinän mittaamisessa tulee huomioida laitteiden käytöstä ja käyntiväriinistä sekä käyttäjien toimenpiteistä johtuva tärinä, joka voi vääristää mittaustulosta. Nämä tärinät voidaan eliminoida suorittamalla mittaukset lähellä laitteita olevista kantavista rakenteista. Tärinän suuruudesta johtuen voi kuitenkin olla syytä tarkistaa rakenteista siirtyvän tärinän suuruus mittaamalla tärinä myös laitteen luota. (Pöllä ym. 1996, 86.)

6 TÄRINÄMITTARIT

Mittauslaitteisto koostuu yksinkertaisimmillaan mittausanturista, kaapelista sekä tulostus/tiedonkeruuyksiköstä. Rakennustärinöitä mitattaessa antureina käytetään lähes aina geofoneja. Geofoni tuottaa heilahdusnopeuteen verrannollisen signaalin, joka siirretään tärinämittariin kaapeleita pitkin. Geofonin lisäksi laitteisiin voidaan usein liittää myös mikrofoni paineaallon mittaamista varten. Nykyaikaiset tärinämittarit ovat ohjelmoitavia tiedonkeruulaitteita, joihin kuuluu lähes aina näyttö sekä käyttöliittymä. Ne toimivat pattereilla tai akulla, patterikäyttöisen laitteen toiminta-aika on noin 2 - 3 viikkoa. Mittaustulokset siirretään tarkastelua varten mittarista tietokoneelle kaapeleita pitkin. Yleensä jokaisella laitevalmistajalla on oma ilmaiseksi saatava ohjelmansa mittaustulosten tarkasteluun. Mittarin ominaisuuksista riippuen on mahdollista tulostaa mittaustulokset työmaalla mittariin liitettävän tulostimen kautta. Useat nykyaikaiset mittarit tukevat myös langattomien verkkojen kautta tapahtuvaa tiedonsiirtoa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että käyttäjä voi lukea mittaustuloksia etäyhteydellä suoraan mittarista hyödyntäen WiFi-verkkoa. Jotkin mittarit tukevat myös GSM-verkkoa, jolloin laite voi lähettää mittaustulokset automaattisesti tekstiviestillä. Langattomien ominaisuuksien käyttöä Suomessa rajoittaa kuitenkin pitkät välimatkat sekä langattomien verkkojen puute syrjäisillä alueilla. Kaikki tärinämittarit sekä anturit tulee kalibroida aika ajoin valmistajan hyväksymässä tarkastuslaitoksessa. Kalibrointiväli on tavallisesti yksi vuosi antureille ja kaksi vuotta mittareille. (RIL 253-2010, 77,80; Pöllä ym. 1996, 87.)

Tiedonkeruulaitteet voidaan jakaa huippuarvomittareihin sekä analyysimittareihin. Huippuarvomittari tallentaa nimensä mukaisesti vain tärinän maksimiarvot. Analyysimittarien avulla voidaan saada tarkempi kuva tärinästä ja räjäytyskentän toimivuudesta, sillä ne mittaavat huippuarvojen lisäksi myös taajuutta sekä tärinän kestoa ja vaihtelua. Analyysimittari on yleensä 3-komponenttimittari, eli se tallentaa pysty-, poikittais- ja vaakasuuntien tärinät. Huippuarvomittari puolestaan tallentaa tavallisesti vain pystykomponentin heilahdusarvon. Laitteille voidaan asettaa tärinän kynnyсарvot, joiden ylittyessä tiedontallennus alkaa. Näin voidaan välttää mahdollisen taustatärinän haitallinen vaikutus mittaustuloksiin. Tallennus jatkuu käyttäjän asettaman sen pituisen ajanjakson ajan, joka riittää tärinäilmiön arvosteluun. (Pöllä ym. 1996, 88.)

6.1 Laitevalmistajat

Erilaisia värinämittareita on saatavilla useilta eri valmistajilta ja useina eri malleina. Mittareita valmistavat mm. sveitsiläinen Syscom Instruments, kanadalainen InstanTel, yhdysvaltalainen Whiteseis sekä ruotsalaiset Abem ja Sigicom. Alla on esitelty kolmen eri valmistajan perusmallia.

6.1.1 Abem Vibraloc

Vibraloc on pienikokoinen 3-komponenttimittari (kuva 6). Anturit sijaitsevat laitteen sisällä, eli mittauksessa itse laite kiinnitetään mittaushintaan. Laitteeseen voidaan myös liittää ulkoinen mikrofoni äänenpaineen mittaamiseen. Laite on analyysimittari, joten sillä voidaan tallentaa jatkuvaa tietoa värinästä värinäkyntä ylittyessä sekä huippuarvoja 2s - 2min ajalta. Muistiin mahtuu käytetyistä mittauserätyksistä riippuen maksimissaan 800 mittauksen tiedot. Mittaustulokset voidaan siirtää laitteesta tietokoneelle kaapelin kautta ja edelleen Abemin omaan tulosojelmaan. Patterinkesto laitteessa on maksimissaan kolme viikkoa. Laitteen hinta on n. 3400 € ja siihen on saatavilla lisähintaan myös laajennusosa, joka mahdollistaa GSM-yhteyden hyödyntämisen tulosten lähettämisessä langattomasti sekä kolmen ulkoisen värinäanturin liittämisen laitteeseen. (Abem Instrument AB; Grafström)



KUVA 6. Abem Vibraloc (Abem Instrument AB)

6.1.2 Instantel Minimate Plus

Mittari on 3-komponenttimittari, johon anturi sekä mikrofoni kiinnitetään kaapeleilla (kuva 7). Myös Minimate on analyysimittari, jonka tallennuksen alkamisen ja jatkumisen käyttäjä pystyy ohjelmoimaan sekuntien tarkkuudella. Laitteen patterinkesto on noin 9 päivää jatkuvalla käytöllä ja sen muistiin mahtuu 300 mittauksen tiedot. Mittaustulokset siirretään tietokoneelle kaapelilla ja tulkitaan Blastware- mittausohjelmalla. Laitteessa on myös valmius ulkoiselle modeemille, joka mahdollistaa mittaustuloksien lähettämisen langattomasti. Mittarin hinta on noin 5800 €. (Instantel; Holmström 2012)



KUVA 7. Instantel Minimate Plus (Instantel)

6.1.3 Syscom MR3000C

MR3000C on Syscomin uusin 3-komponentti analyysimittari, jota on saatavilla sekä ulkoisilla että sisäisillä antureilla (kuva 8). Laite on täysin käyttäjän ohjelmoitavissa ja se tukee sisäisen muistinsa lisäksi myös SD-muistikortteja. Laitteen akunkesto on kolme päivää. Mittaustiedon siirto laitteesta tapahtuu kaapelilla, muistikortilla tai langattomien verkkojen kautta. Laitteessa on sisäänrakennettu modeemi, joka tukee

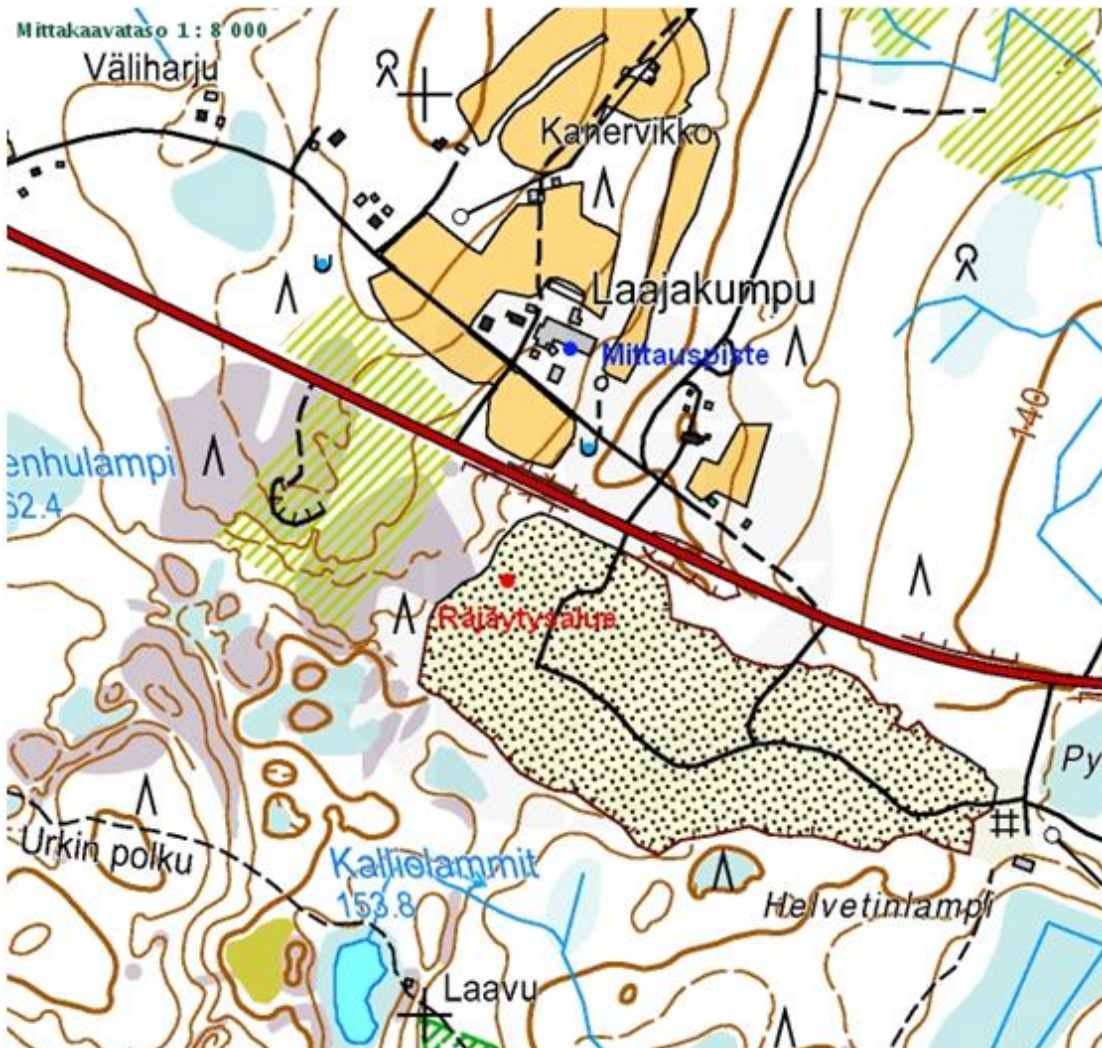
nykyaikaisia langattomia verkkoja (WLAN, bluetooth, GSM/GPRS). Mittarin hinta on 6400 € (Lahtinen)



KUVA 8.Syscom MR3000 (Lahtinen)

7 TÄRINÄMITTAUS LAAJAKUMMUN MAA-AINESALUEELLA

Kokonaiskuvan saamiseksi tärinämittarin käytöstä työmaalla, tehtiin tärinämittaus Pielaveden kunnassa sijaitsevalla Savon-Kuljetus Oy:n omistaman Laajakummun ottoalueen läheisyydessä. Avolouhinnassa irrotettiin noin 5000 kiintokuutiota kalliota ja räjähdysaineena käytettiin Kemiitti 510 emulsioräjähdysainetta sekä Nonel-United -nalleja. Panostuksesta sekä tärinäiden tarkkailusta vastasi T.Majjala Oy.



KUVA 9. Räjäytysalueen ja mittauspisteen sijainti. Kuvaa on muokattu. Pohjakartta (C) Maanmittauslaitos lupanro 51/MML/12. (Kansalaisen Karttapaikka)

Tärinät mitattiin InstanTel Minimate Plus –mittarilla. Tärinäanturi kiinnitettiin propulla alustoineen 240m päässä räjäytyksestä sijaitsevan navettarakennuksen perusmuuriin. Samasta paikasta oli vuonna 2008 ottoalueella tehdyn murskauksen aiheuttamaksi tärinäksi mitattu 4.1 mm/s ja tärinän ohjearvoksi oli tuolloin määritetty 7-15 mm/s. Rakennuksen omistajan kanssa oli sovittu, että jokaisesta räjäytyksestä ilmoi-

tetaan etukäteen, jotta maidontuotanto ei häiriintyisi. Suomen GPS-Mittaus Oy oli aiemmin käynyt tekemässä rakennukselle kiinteistökatselmuksen, jossa rakennusten kivijalat ja muurit tarkastettiin ja kuvattiin.



KUVA 10. Tärinämittari mittaussuunnitelmassa

Mittarin asentaminen ja käyttö oli todella yksinkertaista. Seinään oli jo aiemmin lyöty proppu, johon alusta kiinnitettiin pultilla. Seuraavaksi itse anturi kiinnitettiin pultilla alustaan ja varmistettiin että anturin nuoli osoitti räjäytyspaikan suuntaan. Lopuksi anturi liitettiin kaapelilla mittariin.

Seuraavaksi mittari laitettiin päälle virtanappulasta, jolloin näyttöön ilmestyi päivämäärä sekä kellonaika. Kun tiedot oli tarkastettu oikeiksi, laitettiin mittari mittaussuunnitelmien painamalla start monitor-näppäintä. Mittari suoritti pikaisen anturin toimintakunnon tarkastuksen ja oli tämän jälkeen valmis mittaamaan. Mittarille ei tässä tapauksessa asetettu tärinärajoja, vaan se tallensi myös kaikkein heikoimmat tärinät.

Räjähdyksen jälkeen tärinän huippuarvot oli luettavissa suoraan mittarin näytöltä. Kokonaiskuvan saamiseksi tiedot siirrettiin mittarista tietokoneelle ja tulkittiin Instantelin Blastware-ohjelmalla. Tiedoista tulostettiin taajuusraportti (kuva 12), josta ilmenevät myös kaikkien kolmen komponentin maksimiheilahdusnopeudet.

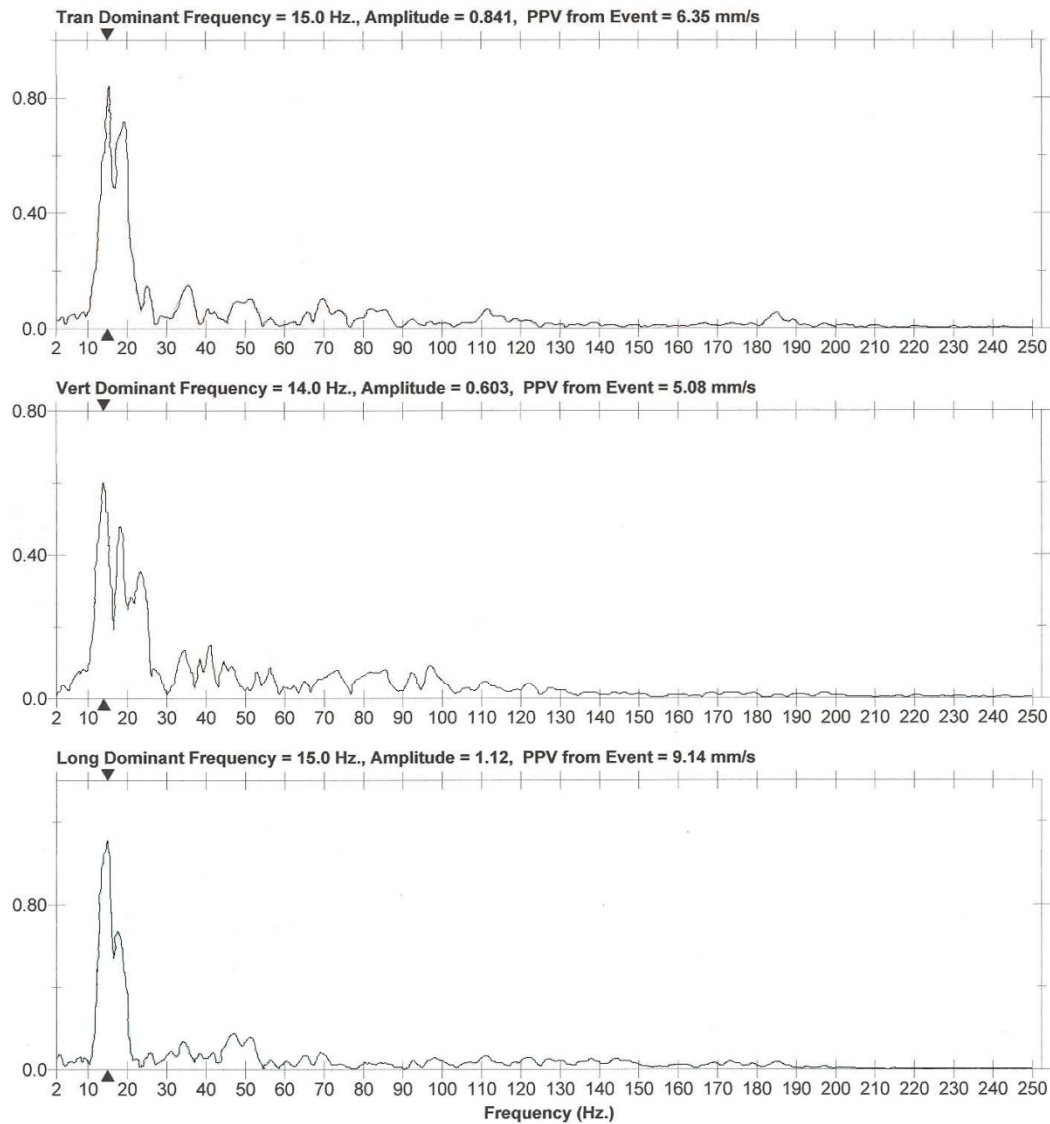


FFT Report

Date/Time	Vert at 11:13:43 March 26, 2012	Serial Number	BE13459 V 8.12-8.0 MiniMate Plus
Trigger Source	Geo: 0.510 mm/s	Battery Level	6.4 Volts
Range	Geo :254 mm/s	Calibration	March 12, 2008 by InstanTEL Inc.
Record Time	1.0 sec at 1024 sps	File Name	O459E7ND.UV0

Notes

Post Event Notes



KUVA 11. Yhteenveto tärinän taajuuksista sekä huippuarvoista. Kuvasta nähdään, että pystysuuntainen heilahdusnopeuden maksimiarvo (Peak Point Velocity) oli 5.08 mm/s.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella tärinämittareita sekä tärinän riskinarviointia. Nykyaikaiset tärinämittarit ovat toiminnaltaan hyvin samanlaisia. Tärinäanturi tai koko mittari, jos kyseessä on malli, jonka anturit ovat sisäänrakennettuja, kiinnitetään mitauspisteeseen ja laite laitetaan päälle. Jokaisesta mallista löytyy hyvin helppokäyttöinen käyttöliittymä, josta käyttäjä määrittää käytettävät mittausasetukset. Mittaustulokset tulkitaan valmistajan omalla ohjelmalla ja mitatuista suureista voidaan tehdä tarpeen mukaan erilaisia tulosteita. Suurimmat erot mittarien välillä ovat niiden lisäominaisuuksissa, jotka liittyvät tiedonsiirtoon sekä tulostentulkintaan. Kalliimmissa malleissa on yleensä vakiona mahdollisuus etäkäyttöön sekä mittaustulosten lähettämiseen langattomana esimerkiksi suoraan toimistolle tai Internet-palvelimelle, josta tulokset voidaan saattaa reaaliaikaisesti useammankin eri tahon nähtäville. Työn kesto ja luonne määräävät onko tällaisille ominaisuuksille käyttöä. Mikäli tärinä on luonteeltaan jatkuvaa ja työ niin vaativaa, että tärinää tulee tarkkailla reaaliaikaisesti niin, että liialliseen tärinään voidaan puuttua nopeasti, on tällaisista ominaisuuksista hyötyä. Täytyy kuitenkin muistaa, että syrjäisimmillä alueilla langattomien verkkojen puute tai huono laatu voivat estää langattomien yhteyksien käytön.

Kaikki tarkastellut mittarit soveltuvat erittäin hyvin tärinöiden tarkkailuun. Tarkastelluista mittareista Syscom MR3000C edustaa edistyneintä mallia. Etenkin sen etäkäyttöominaisuudet ovat sisäisen, monia eri yhteyksiä tukevan modeemin ansiosta paljon edellä Abem Vibraloc ja Instantel Minimate Plus -mittareita, joihin modeemi täytyy hankkia erikseen. Vibraloc ja Minimate myös tukevat pääasiassa vain vanhempaa GSM-verkkoon perustuvaa tiedonsiirtoa. Mikäli etäkäyttöominaisuuksille ei ole tarvetta, hoitaa tarkastelluista mittareista halvin Abem Vibraloc tärinöiden mittauksen varmasti vähintään yhtä hyvin kuin Instantel Minimate Plus.

LÄHTEET

Aatos, S. 2003. *Luonnonkivituotannon elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset*. Helsinki: Edita

Abem Instrument AB. Products. Vibraloc Vibration Monitor [viitattu 24.2.2012]. Saatavissa: <http://www.abem.se/>.

Grafström, P. Abem Instrument AB. Vibrationmonitors / Finland [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Tatu Sirkko. Lähetetty 10.2.2012 [viitattu 12.2.2012].

Holmström, Vesa 2012. Kalliotekniikka Consulting Engineers Oy. Helsinki 1.2.2012. Puhelinkeskustelu.

Instantel. Products. Minimate Plus [viitattu 24.2.2012]. Saatavissa: <http://www.instantel.com/>

Kansalaisen karttapaikka 2012 [online]. 1: 8000. ETRS-TM35FIN -tasokoordinaatit N 7010494 E 491146. Helsinki: Maanmittauslaitos [viitattu 1.4.2012]. Saatavissa: <http://kansalaisen.karttapaikka.fi>

Lahtinen, K. MIP Electronics Oy. MIP Electronics / Tarjouksemme [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Tatu Sirkko. Lähetetty 7.3.2012 [viitattu 8.3.2012].

Laki eräistä naapuruussuhteista 13.2.1920/26. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1920/19200026>

Laki ympäristövahinkojen korvaamisesta 19.8.1994/737. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940737>

Maa-ainelaki 24.7.1981/555. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1981/19810555>

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Pöllä, J., Kärnä T., Vuolio, R., Paavola, P. & Räsänen H. 1996. *Kalliorakentaminen 2000*. Espoo: VTT

RIL 253-2010. *Rakentamisen aiheuttamat tärinät 2010*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto

Ympäristöasioiden hallinta kiviainestuotannossa 2010. Suomen ympäristö 2010 nro. 25. Suomen ympäristökeskus. 2010.

Talja, A., Vepsä, A., Kurkela, J. & Halonen, M. 2008. *Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi*. Espoo: VTT

Talja, A. 2004. *Suositus liikennetärinänmittaamisesta ja luokituksesta*. Espoo: VTT

Taloussanomien www-sivu. [viitattu: 16.2.2012] Saatavissa: <http://yritys.taloussanomien.fi/y/suomen-gps-mittaus-oy/kuopio/0961185-2/>

Törnqvist, J. & Talja, A. 2006. *Suositus liikennetärinänarvioimiseksi maankäytön suunnittelussa*. Espoo: VTT

Valtioneuvoston asetus maa-ainesten ottamisesta 926/2005. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2005/20050926>

Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta tärinästä aiheutuville vaaroilta 48/2005. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1920/19200026>

Valtioneuvoston asetus ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 713/2006. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060713>

Vuolio, R. 1991. *Räjäytystyöt.* Helsinki: Suomen Maarakentajien Keskusliitto r.y.

Vuolio, R. & Halonen, T. 2010. *Räjäytystyöt.* Helsinki: Suomen Rakennusmedia

Ympäristönsuojelulaki 4.2.2000/86. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086>

Ympäristönsuojeluasetus 18.2.2000/169. Finlex. Lainsäädäntö [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000169>

Kaikkiin tässä työssä esiintyviin kuviin, taulukoihin ja kaavioihin on käyttö lupa.

