

NCC Industry Oy


TÄRINÄVAIKUTUSTEN ARVIOINTI JA SEURANTASUUNNITELMA

Nurmijärvi, Perttula, 543-413-9-5

Kiviaineksen louhinta ja murskaus



Tilaaaja:
NCC Industry Oy

Tärinävaikutusten arviointi ja seurantasuunnitelma

Kohde:
Nurmijärvi, Perttula, 543-413-9-5

Raportin numero:
PR5469-LT01

Raportin päiväys:
15.9.2020

Kirjoittaja(t):

Suunnittelija, DI
041 506 3418

Tarkastanut:

Fysikko, FM
040 574 0028

Sisällysluettelo

1	Yleistä.....	4
2	Yleistietoa tärinästä	4
2.1	Tärinän syntyminen ja leviäminen	4
2.2	Tärinän siirtyminen rakenteisiin ja rakenteissa.....	4
2.3	Tärinän vaikutukset ihmisiin.....	4
2.4	Tärinän vaikutukset rakennuksiin	5
2.5	Ilmanpaineaalto.....	5
2.6	Kiviainestuotannon tärinää aiheuttavat toiminnot.....	5
3	Tarkasteltava alue ja sen ympäristö	7
4	Louhintaan ja murskaukseen liittyvä toiminta alueella.....	8
5	Räjäytysten aiheuttaman tärinän vaikutusten arviointi ja seuranta.....	8
5.1	Räjäytystärinän ohjearvot rakenteiden vaurioriskin kannalta	8
5.2	Suoritettavat katselmukset	10
5.3	Tärinämittaukset	11
5.4	Raportointi	11
6	Liikenteen aiheuttaman tärinän vaikutusten arviointi	11
7	Muut huomiot	12
8	Lisätietoja	12
9	Kirjallisuus.....	12

1 YLEISTÄ

Tässä selvityksessä arvioidaan suunnitellusta kivenotto- ja murskaustoiminnasta ympäristöön aiheutuvia tärinävaikutuksia ja esitetään toimenpiteet tärinävaikutusten tarkkailuun. Selvitys on tehty kohteen ympäristölupahakemusta varten.

2 YLEISTIETOA TÄRINÄSTÄ

2.1 Tärinän syntyminen ja leviäminen

Tärinää syntyy, kun jokin voima vaikuttaa värähtelykelpoiseen mekaaniseen systeemiin. Tärinän aiheuttavana herätteenä voi toimia esimerkiksi räjäytyksen energia tai ajoneuvon massan liikkuminen epätasaisella tai joustavalla alustalla.

Tärinän etenemiseen maaperässä ja suuruuteen eri etäisyyksillä vaikuttavat monet tekijät. Tärinän leviämiseen vaikuttavat maa- ja kallioperän ominaisuudet, kuten maalaji ja sen rakeisuus sekä maan ja maakerrosten tiiviys, lujuus, kerroksellisuus, kimmomoduuli ja vesipitoisuus. Maaperän ominaisuudet vaikuttavat tärinän suuruuden lisäksi myös tärinän taajuussisältöön. Laajimmalle alueelle tärinä leviää pehmeissä maalajeissa (esim. savi) ja vastaavasti tärinän vaikutusalue on pienin kovissa karkearakeisissa kivennäismaalajeissa (sora, hiekka), moreenimaalajeissa ja kalliossa. Normaalisti tärinän suuruus pienee voimakkaasti, kun etäisyys tärinälähteeseen kasvaa. [1, 2]

2.2 Tärinän siirtyminen rakenteisiin ja rakenteissa

Rakennuksen värähtelyihin vaikuttavat rakennuksen dynaamiset ominaisuudet ja rakennuksen vuorovaihtus maan kanssa. Maaperän värähtelyt eivät siirry samansuuruisina ja -taajuisina maasta rakenteisiin, vaan rakennuksen värähtelyn suuruus ja taajuussisältö eroavat maaperästä mitatuista värähtelyistä. Tärinän siirtyminen maasta rakenteisiin riippuu mm. tärinän taajuuden ja rakenteiden ominaistaajuuksien suhteesta sekä rakenteiden dynaamisista ominaisuuksista, kuten massasta ja jäykkyydestä. Tärinän siirtymiseen rakennuksissa vaikuttavia tekijöitä ovat mm. perustamistapa, rakennuksen mitat, rakenneosien massat ja jäykkyydet, värähtelyjen taajuussisältö sekä rungon, välipohjan ja muiden rakenneosien resonanssi. [2]

2.3 Tärinän vaikutukset ihmisiin

Ihminen on herkkä havaitsemaan tärinää ja ilmanpaineaaltoa. Tärinän aistiminen kuitenkin vaihtelee ihmisestä riippuen ja siten henkilöt myös kokevat tärinästä johtuvat haitat eri tavalla.

Kiviainestoiminnassa tärinä aiheutuu pääosin räjäytyksistä. Räjäytyksestä kuuluva ääni vahvistaa ihmisten tärinätuntemuksia tai tärinäksi tulkittuja tuntemuksia.

Räjäytysten aiheuttaman tärinän vaikutukset ihmisiin ovatkin yleensä vain tärinän kokemisessa häiritseväksi. Joskus tärinä voi asumismukavuuden vähenemisen lisäksi häiritä keskittymiskykyä ja nukkumista. Lisäksi tärinään liittyy yleensä myös psykologisia vaikutuksia, kuten esimerkiksi pelko tärinän rakennuksiin aiheuttamien vaurioiden syntymisestä.

Räjäytysten aiheuttama tärinä koetaan yleensä häiritseväksi, kun tärinän heilahdusnopeus on yli 5–10 mm/s. Alle yhden sekunnin kestoiselle tärinälle havaintokynnys on ihmisestä riippuen 0,2–1 mm/s.

2.4 Tärinän vaikutukset rakennuksiin

Poikkeusolosuhteissa tärinä voi vaurioittaa rakennuksien rakenteita. Rakenteiden kunto ja niiden aikaisempi kuormitushistoria vaikuttavat rakenteiden tärinänsietoon. Huonokuntoinen rakenne voi vaurioitua esimerkiksi tärinän aiheuttamasta lisäkuormituksesta. Rakenne vaurioituu, kun kuormituksen aiheuttama jännitys ylittää rakenteiden lujuuden. Vaurioita syntyy rakenteisiin ajan myötä monista eri syistä ja tärinä on yksi syy, joka voi nopeuttaa rakenteiden vaurioitumista. Muita syitä ovat esimerkiksi perustusten painumat, lämpötilaerojen aiheuttamat rasitukset, materiaaleissa olevan veden jäätyminen, routiminen, muu ylikuormittuminen ja kosteusmuutokset. Vaurioita voi syntyä myös suunnittelu- ja rakennusvirheiden takia. Tärinän aiheuttamat hiushalkeamat (alle 0,5 mm:n halkeama) rakenteissa ovat yleensä vähäisiä, eivätkä ne heikennä rakenteiden kantavuutta. Muutenkin ainoastaan poikkeuksellisen suuri tärinä aiheuttaa rakenteisiin vaurioita. Tärinän vaikutuksia arvioitaessa on otettava huomioon, että rakenteen omasta painosta ja muista kuormituksista voi aiheutua samanlaisia vähäisiä vaurioita kuin tärinästä. [3, 4]

2.5 Ilmanpaineaalto

Louhintaräjäytyksistä aiheutuu tärinän lisäksi myös ilman värähtelyä, joka on taajuudeltaan osittain kuuloalueella ja osittain sen alapuolella. Tätä pienitaajuisia räjäytyksessä syntyvää ilman värähtelyä kutsutaan ilmanpaineaalloksi.

Ilmanpaineaalto aiheutuu räjäytyksessä vapautuvasta kaasunpaineesta. Räjähdyksessä tapahtuvissa kemiallisissa reaktioissa syntyy suuri määrä kaasuja, jotka puristavat ympäröivää ilmaa kasaan ja työntävät sitä eteenpäin. Käytettävä räjähdde vaikuttaa syntyvän kaasun määrään ja samalla ilmanpaineaallon suuruuteen. Ilmassa tai pintapanoksena räjäytetty räjähdysaine saa aikaan suurimman ilmanpaineaallon.

Räjäytyksissä syntyvä ilmanpaineaalto aiheuttaa häiriötä ympäristöön ja voi rikkoa ikkunoita. Normaalisissa avolouhinnassa ilmanpaineaallosta ei yleensä ole haittaa, kun tärinän ohjearvoja ei ylitetä. Ilmanpaineaallon vaurioita aiheuttava vaikutus rajoittuu lähinnä pintapanosten ja räjähtävän tulilangan käyttöön. Ilmanpaineaallon aiheuttamat vauriot (ikkunoiden hajoaminen) on erittäin harvinaista.

Ilmanpaineaallon leviämiseen ympäristöön vaikuttavat maasto, säätila (mm. tuuli, lämpötila ja kosteus) ja esteet. Ilmanpaineaallon suuruutta voidaan pienentää mm. ominaisporausta kasvattamalla ja kerralla räjähtävän räjähdysaineen määrää pienentämällä. [5]

2.6 Kiviainestuotannon tärinää aiheuttavat toiminnot

Kiviainestuotannossa ympäristöön leviävä tärinä syntyy louhinnan räjäytyksistä ja murskeen kuljetuksesta alueelta pois. Räjäytysten ja kuljetusten tärinät poikkeavat ominaisuuksiltaan toisistaan. Räjäytysten aiheuttama tärinä on voimakkaampaa ja lyhytkestoista, kun taas liikenteestä aiheutuva tärinä on normaalisti pienempää ja pitkäkestoisempaa. Lisäksi räjäytysten tärinää havaitaan laajalla sektorilla, kun taas liikenteen tärinä rajoittuu liikenneväylän läheisyyteen.

Räjäytys

Louhintaräjäytys tehdään laaditun räjäytyssuunnitelman mukaisesti. Räjäytyssuunnitelmassa päätetään purkautumissuunta, sytytysjärjestys, porausreikien sijoittelu ja kaltevuudet sekä suunnitellaan panostus. Tarvittava räjähdysaineen määrä vaihtelee louhintaolosuhteiden mukaan. Räjähdysaineen valintaan vaikuttavat mm. kallion laatu, kiven rakoilu ja haluttu lohkokoko. [6]

Louhintaräjäytyksessä porareikään syntyy lyhytaikainen ja voimakas paine. Paine ja iskuaallon jännitys rikkovat ympäriltä kalliota ja siirtävät kalliomassaa. Alueella, jolla räjäytyksen vapauttava energia ei enää riitä rikkomaan kalliota, havaitaan paine tärinänä. [5]

Räjäytyksistä aiheutuva tärinä on impulssimaista ja laajakaistaista. Voimakkain tärinä kestää vain lyhyen hetken, yleensä alle sekunnin. Louhintaräjäytyksissä tärinän taajuus vaihtelee lyhyillä etäisyyksillä tavallisesti välillä 50–200 Hz. Yleensä tärinän taajuus pienenee etäisyyden kasvaessa ja yli 200 metrin etäisyyksillä taajuudet ovatkin yleensä jo alle 50 Hz. Tärinän heilahdusnopeuden pystykomponentti on suurin pienillä, alle 100 metrin etäisyyksillä. Etäisyyden kasvaessa vaakakomponentti muuttuu vallitsevaksi komponentiksi. Tämä tapahtuu yleensä yli 200 metrin etäisyyksillä. [4, 5]

Tieliikenne

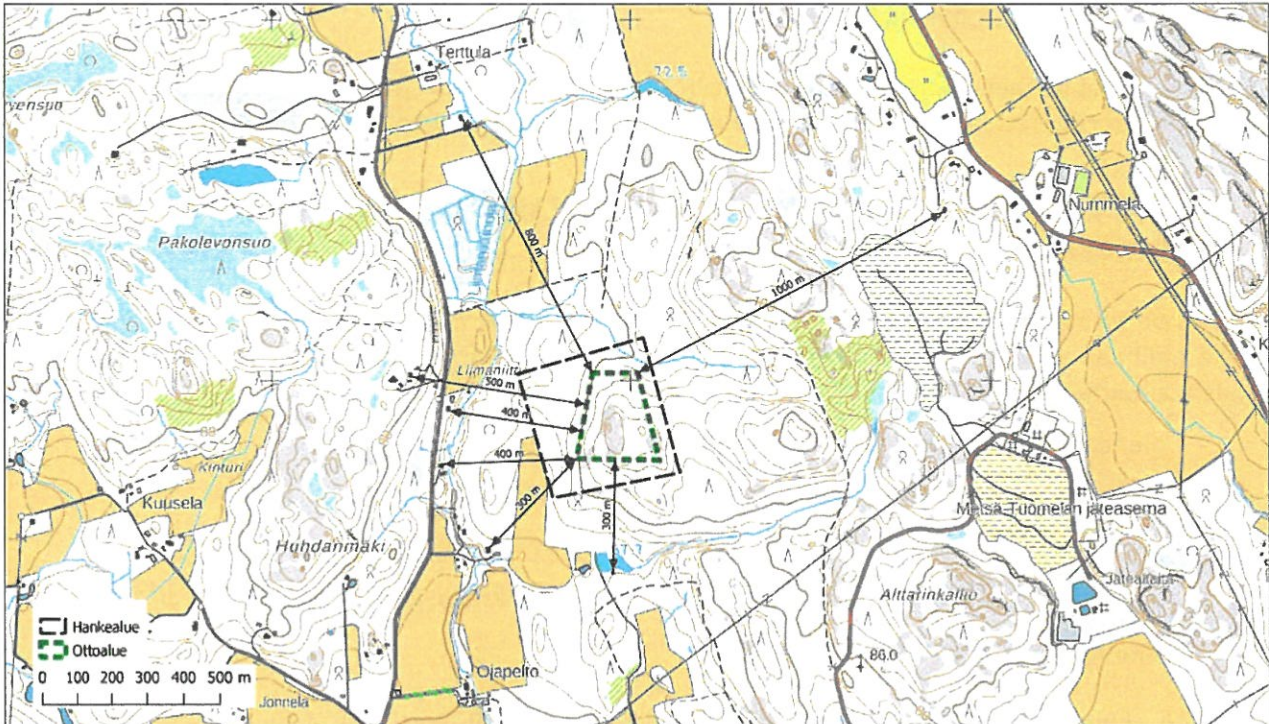
Ajoneuvo aiheuttaa liikkeessaan tiehen painuman, joka saa aikaan nopean paineen muutoksen tiessä. Paineen maahan välittämä energia ilmenee maassa tärinänä. Tien epätasaisuudet lisäävät ympäristöön leviävää iskumaista tärinää. Liikenteestä aiheutuvan tärinän suuruuteen vaikuttavat eniten ajoneuvon massa ja nopeus sekä tien kunto.

Työmaaliikenteestä aiheutuva tärinä on räjäytyksistä aiheutuvaan tärinään verrattuna pienempää ja selvästi pitkäkestoisempaa. Tehtyjen tutkimusten perusteella liikennetärinän taajuus vaihtelee yleensä välillä 5–20 Hz. Raskas tieliikenne voi aiheuttaa havaittavaa tärinää, mutta harvoin työmaaliikenteen aiheuttama tärinä kuitenkaan vaurioittaa rakenteita. Työmaaliikenteestä johtuvaa tärinää voidaan pienentää tekemällä kulkuväylät tasaisiksi ja kantaviksi sekä pienentämällä ajoneuvojen nopeuksia.

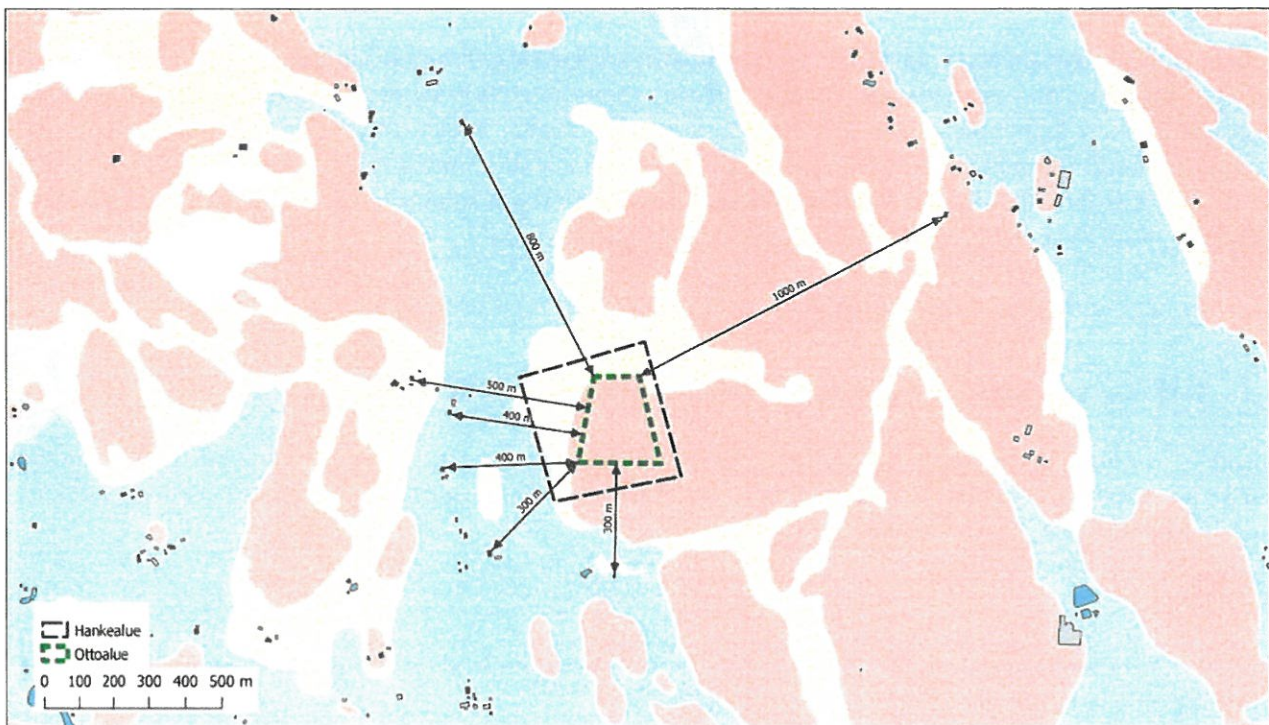
Karkeana suojaetäisyytenä raskaan tieliikenteen ja rakennusten välillä voidaan pitää karkealla maalajilla 15 m ja pehmeällä maalajilla 100 m. Suojaetäisyyttä voidaan tapauskohtaisesti oleellisesti pienentää tärinämittauksilla.

3 TARKASTELTAVA ALUE JA SEN YMPÄRISTÖ

Lähimmät rakennukset sijaitsevat 300 m etäisyydellä louhittavasta alueesta (kuva 1). Maaperä lähimpien rakennusten kohdalla on GTK:n maaperätietojen perusteella lähinnä savimaata (kuva 2).



Kuva 1. Lähimpien asuin- tai lomarakennusten sijainti maastokartalla.



Kuva 2. Maaperäkartta (lähde: GTK) ja rakennukset. Sininen alue on savimaata, keltainen hiekkamoreenia ja punainen kalliota.

4 LOUHINTAAN JA MURSKAUKSEEN LIITTYVÄ TOIMINTA ALUEELLA

Toiminnanharjoittajan antamien ennakkotietojen mukaan alueella tulee toimimaan: poravaunu, rikotin, siirrettävä murskauslaitos ja kaksi pyöräkuormaajaa tai muuta työkonetta.

Kiviaineksen louhinta suoritetaan räjäyttämällä.

Alueella toimivat laitteet – poravaunu, rikotin, siirrettävä murskauslaitos ja pyöräkuormaaja – aiheuttavat niin pienen tärinäherätteen, että niistä ei aiheudu havaittavaa tärinää ympäristön rakennuksille.

5 RÄJÄYTYKSIEN AIHEUTTAMAN TÄRINÄN VAIKUTUSTEN ARVIOINTI JA SEURANTA

Louhinta on toteutettavissa siten, että lähirakennuksille ei aiheudu vaurioriskiä. Räjäytysten aiheuttamaa tärinää hallitaan valitsemalla käytettävä momentaaninen räjähdeainemäärä kohteeseen sopivaksi. Louhinnasta aiheutuvaa tärinää voidaan vähentää mm. seuraavilla toimenpiteillä:

- pienennetään reikäkokoa, jolloin reikäpanos pienenee
- pienennetään pengerkorkeutta, jolloin reikäpanos pienenee
- pienennetään kentän kokoa esimerkiksi reikärivejä vähentämällä
- jaetaan reikä välitäytteillä kahteen tai useampaan panokseen, jotka räjäytetään eriaikaisesti
- suunnitellaan sytytys sopivalla tavalla.

Jokaisesta kentästä laaditaan erillinen räjäytyssuunnitelma. Ennen räjäytystä varmistetaan, että vaara-alueella ei ole ihmisiä ja räjäytyksestä ilmoitetaan äänimerkillä. Räjäytystyön tekevät koulutetut ja räjäytystyön vaatimat pätevyydet omaavat henkilöt.

Ennen louhintojen aloitusta ympäristössä tehdään rakennuskatselmoinnit vähintään luvun 6 kuvassa 3 esitetyn katselmointialueen laajuudella. Katselmointien perusteella määritetään rakennuskohtaiset suositukset tärinän enimmäistasoille luvussa 5.1 esitetyllä tavalla. Suositukset huomioidaan räjäytyksiä suunniteltaessa. Vähintään ensimmäisten louhintojen aikana lähimmissä rakennuksissa mitataan toteutuvia tärinätasoja. Tuloksia hyödynnetään seuraavien louhintojen suunnittelussa ja tarvittaessa mittauspisteiden määrää voidaan louhintojen edetessä lisätä tai vähentää.

Räjäytys- ja louhintatöitä koskee erillinen lainsäädäntö, jota louhintatöissä noudatetaan.

5.1 Räjäytystärinän ohjearvot rakenteiden vaurioriskin kannalta

Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa ”Räjäytysalan normeja, Turvallisuusmääräykset 16:0”, (STM 1998) on annettu ohjearvot räjäytystärinälle [7]. Tärinän heilahdusnopeuden suurin ohjearvo voidaan määrittää seuraavan kaavan avulla

$$v = F_k * v_1, \quad (1)$$

missä F_k on rakennustapakerroin (taulukko 1) ja v_1 on sallittu heilahdusnopeus eri etäisyyksillä erilaisille materiaaleille perustetuille rakennuksille (taulukko 2).

Taulukko 1. Rakennustapakerroin F_k

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

¹ Tärinäasiantuntijalla aa-luokan kelpoisuus.

Taulukko 2. Louhintatärinän heilahdusnopeuden v_1 perusarvo (mm/s) etäisyyden suhteen erilaisille maa- ja kalliopohjille perustetuille rakennuksille. Taulukon ylimmässä sarakkeessa on esitetty rakennuksen perustusten alapinnassa oleva maa- tai kalliopohja. Kun sora tai moreeni on löyhää, arvioidaan kerroin v_1 sarakkeen 3 perusteella.

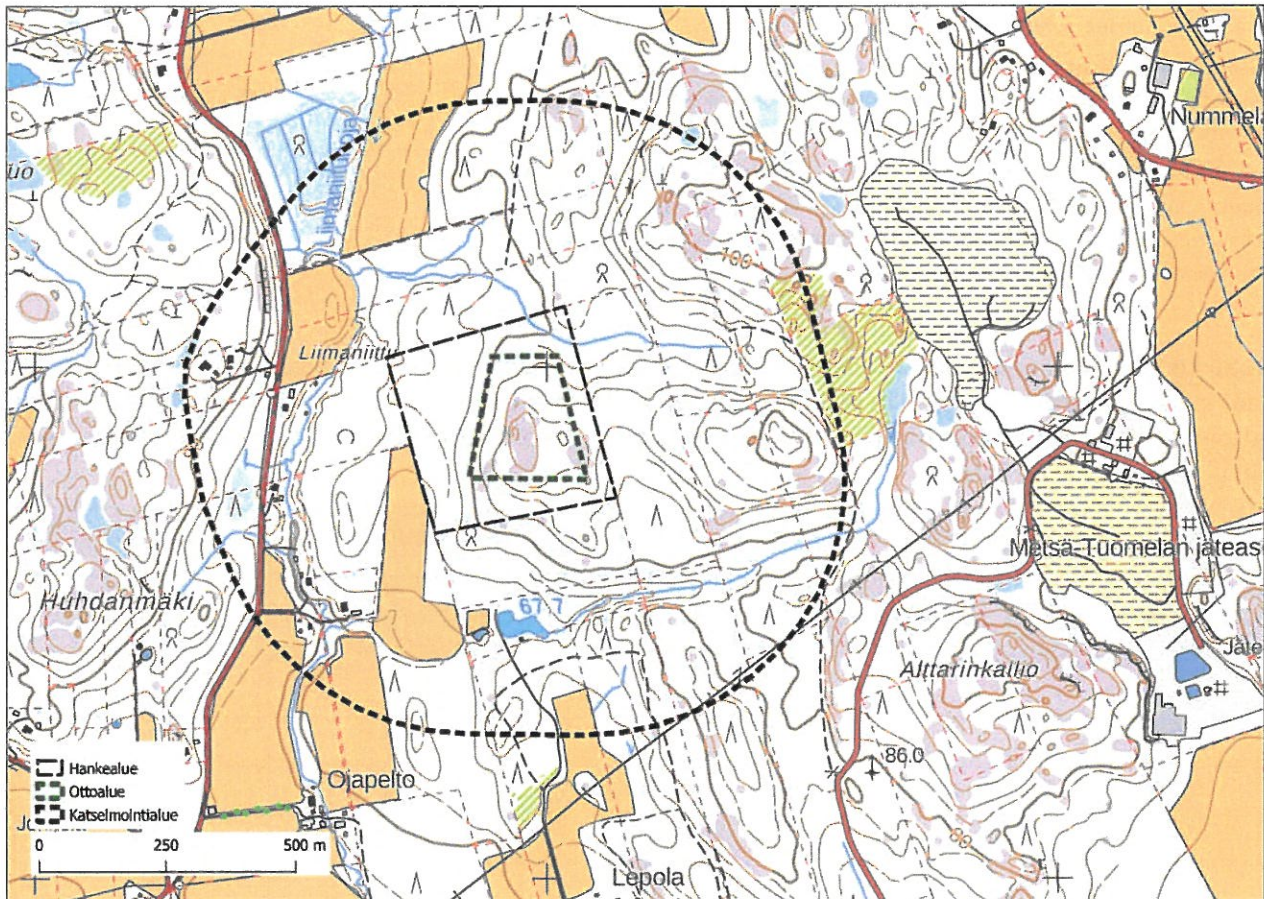
1	2	3	4	5
Etäisyys (m)	Pehmeä savi, leikkauslujuus < 25 kN/m ²	Sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka	Tiivis hiekka, sora, moreeni, rikkonainen tai löyhä kallio	Kiinteä kallio
1	9	18	35	140
5	9	18	35	85
10	9	18	35	70
20	8	15	28	55
30	7	14	25	45
50	6	12	21	38
100	5	10	17	28
200	4	9	14	22
500	3	7	11	15
1000	3	6	9	12
2000	3	5	7	9

Tärinän taajuus on oleellinen tekijä tärinän vaikutuksissa. Samalla heilahdusnopeuden arvolla pienempi taajuus aiheuttaa suurempia muodonmuutoksia ja liike-eroja rakenteiden välillä kuin suurempi taajuus. Taajuus on otettu etäisyyden avulla välillisesti huomioon louhintatärinän ohjearvoissa (taulukko 2).

5.2 Suoritettavat katselmukset

Ennen louhintatöiden aloittamista

Rakennuskatselmus ennen louhintatöiden aloittamista suoritetaan kuvassa 3 esitetyllä laajuudella. Mikäli katselmointien yhteydessä alueen ympäristössä havaitaan muita tärinälle herkkiä kohteita, tulee nämä katselmoida myös. Esimerkiksi Metsä-Tuomelan jäteasemalta tulee varmistaa, voiko suunniteltu louhinta vaikuttaa haitallisesti heidän laitteisiinsa tai toimintoihin. Saatu tieto tulee ottaa huomioon louhintojen suunnittelussa.



Kuva 3. Katselmointialueen rajaus, 500 m ottoalueen reunasta.

Louhintatöiden aikana

Louhintatöiden aikana suoritetaan välikatselmuksia, jos asukas yhteydenottojen tms. syiden johdosta syntyy epäilyksiä louhinnan aiheuttaneen vaurioita rakennuksille.

Louhinnan loppumisen jälkeen

Loppukatselmus suoritetaan kaikissa alku- ja välikatselmoiduissa rakennuksissa. Loppukatselmukset tehdään välittömästi työn päätyttyä.

Yleistä katselmoinnista

Katselmointi suoritetaan kaikkien kohtuudella ja turvallisesti katselmoitavissa olevien pintojen osalta.

Katselmukset suoritetaan valokuvausmenetelmää, piirtämismenetelmää, tai näiden yhdistelmää käyttäen.

Suoritettavien katselmuksien yhteydessä määritetään rakennusten oleelliset rakennusmateriaalit ja perustamistavat. Lisäksi tarkemmat maaperätiedot selvitetään mahdollisuuksien mukaan. Näiden tietojen perusteella määritetään rakennuksille tärinän heilahdusnopeuden ohjearvot.

Suoritettavista katselmoinneista sovitaan kiinteistöjen omistajien kanssa.

Katselmusasiakirjat säilytetään vähintään 10 vuotta työmaan päättymisen jälkeen (RIL 253-2010).

5.3 Tärinämittaukset

Toiminnan alkuvaihe

Tärinämittausta suoritetaan vähintään kahden ensimmäisen räjäytyksen aikana. Mittaus suositellaan tehtävän kolmella asuin- tai lomarakennuksella ottoalueen etelä-/lounais-/länsipuolella. Ensisijainen mitauspiste kiinteistöillä on ns. päärakennus.

Mittautulosten perusteella tehdään arvio lisämittausten tarpeesta.

Tärinämittauksien aikana suoritettujen räjäytyksien räjähdeainemäärät kirjataan muistiin. Käytetty räjähdeainemäärä ilmoitetaan mittausraportissa.

Toiminnan etenemisen aikana

Tärinämittauksen tarve arvioidaan alkuvaiheen mittautuloksien perusteella.

Laitteet

Tärinämittaukset tehdään räjäytystärinän mittaukseen tarkoitetuilla geofoneilla.

5.4 Raportointi

Katselmointi- ja tärinämittaustyön eri vaiheista raportoidaan valvovalle viranomaiselle.

Raportointivaiheita ovat:

- ilmoitus alkukatselmointien suorittamisesta
- raportti kahden ensimmäisen räjäytystärinämittauksen tuloksista ja johtopäätöksistä
- ilmoitus mahdollisista välikatselmuksista ja niiden johtopäätöksistä
- loppuraportti louhintatyön päättymisen jälkeen.

6 LIIKENTEEN AIHEUTTAMAN TÄRINÄN VAIKUTUSTEN ARVIOINTI

Kulku toiminta-alueelle on suunniteltu järjestettävä ottoalueen itäpuolelta Metsä-Tuomelan jäteasemalle johtavalle tielle. Kulkureitin läheisyydessä ei ole tärinälle herkkiä kohteita. Jäteasemalle johtavan tien, sekä tästä eteenpäin muiden yleisten teiden osalta toimintaan liittyvällä liikenteellä ei ole suoranaista vaikutusta ympäristöön aiheutuviin tärinätasoihin. Vastaavaa ajoneuvokalustoa kulkee näillä tieosuuksilla jo nykyisellään.

7 MUUT HUOMIOT

Ennen ensimmäistä louhintakertaa tulee selvittää, onko alle 500 m etäisyydellä olevilla asuin- tai loma-kiinteistöillä käytössä oleva vesikaivo. Jos kiinteistöllä on kaivo, suositellaan siitä otettavan vesinäyte.

8 LISÄTIETOJA

Promethor Oy
puh. 041 506 3418

9 KIRJALLISUUS

- [1] Törnqvist, J. & Talja, A. 2006. Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. VTT Working Papers 50. VTT. Espoo.
- [2] Talja, A. 2004. Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta. VTT tiedotteita – Research notes 2278. VTT. Espoo.
- [3] Tampereen teknillinen yliopisto. RIL 253–2010, Rakentamisen aiheuttamat tärinät. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL.
- [4] Pöllä, J., Kärnä, T., Vuolio, R., Paavola, P. & Räsänen, H. 1996. Louhintatärinän syntyminen ja välittyminen sekä rakenteiden ja laitteiden tärinänkestävyys. Kalliorakentaminen 2000-teknologiahanke, projekti 3.7, VTT Yhdyskuntateknikka, tutkimusraportti. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL, VTT, Teknologian kehittämiskeskus, TEKES. Espoo.
- [5] Aatos, S. 2003. Luonnonkivituotannon elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. Suomen ympäristö 656. Ympäristöministeriö. Helsinki: Edita Prima Oy.
- [6] Hakapää, A. & Lappalainen, P. 2009. Kaivos- ja louhintateknikka. Kaivannaisteollisuus ry, Opetushallitus. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- [7] Sosiaali- ja terveysministeriö. 1998. Turvallisuusmääräykset 16:0. Räjätysalan normeja. Tampere.
- [8] Vuolio R., Räjätystyöt. Suomen Maanrakentajien Keskusliitto r.y. Forssa 1991.
- [9] Tiainen, M. 2010. Kiviainestuotannon tärinävaikutukset. Hämeen ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.