

Janne Kurikka

Rakennuksen värinäsuojausmenetelmät juna- radan läheisyydessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

11.3.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Janne Kurikka Rakennuksen värinäsuojausmenetelmät junaradan läheisyydessä 44 sivua 11.3.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennustuotantotekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Mika Räsänen Kehitysinsinööri Perttu Hynynen
<p>Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus vertailla yleisimpiä rakennuksen värinäsuojausmenetelmiä. Tarkoituksena oli selvittää junaradan läheisyyteen rakennettavan rakennuksen eri värinäsuojausmenetelmien työtekniistä toteutusta, toimintaperiaatetta ja kustannuksia. Kirjallisen lopputuotteen tavoite on toimia pohja-aineistona hankkeissa, joissa junaradan aiheuttama värinä täytyy huomioida rakennuksen suunnittelussa ja toteutuksessa.</p> <p>Työn tilaajayrityksenä toimi YIT Rakennus OY. Tässä työssä tarkastelun alla oli Keravalla sijaitseva rakenteilla oleva toimitilarakennus, jossa YIT toimii pääurakoitsijana. Toimitilarakennus sijaitsee junaradan välittömässä läheisyydessä ja rakentamisen aikana on käytetty useita erilaisia värinäsuojausmenetelmiä. Kohteesta kerättiin konkreettista tietoa värinäsuojausmenetelmien asennustekniseen toteutukseen liittyvistä yksityiskohdista ja kustannuksista. Opinnäytetyön pohjatietona toimivat useat eri kirjallisuuden lähteet, jotka käsittelevät värinäilmiötä ja rakennuksen värinäsuojauksia.</p> <p>Työn tuloksena saatiin kattava tietopaketti rakennuksen värinäsuojausmenetelmistä, niiden työteknisestä puolesta ja kustannuksista. Opinnäytetyön on tarkoitus toimia tietopankkina jatkossa samankaltaisille hankkeille. Tämän työn luettuaan lukija ymmärtää värinäilmiön syntymisen, sekä vaikutukset rakennukseen ja ihmiselle. Opinnäytetyössä käsitellään teoreettisella tasolla seitsemää erilaista värinäsuojausmenetelmää ja tarkasteltavan hankkeen konkreettista värinäsuojauksia. Työn tulosten avulla YIT Rakennus Oy pyrkii kehittämään henkilöstönsä tietotasoa rakennuksen värinäsuojaukseen liittyen.</p>	
Avainsanat	värinä, värähtely, junan aiheuttama värinä, liikennetvärinä, värinän eteneminen maaperässä, värinäsuojausmenetelmät, värinän mittaaminen

Author Title	Janne Kurikka Protection methods against building vibration nearby railroad
Number of Pages Date	44 pages 11 March 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Construction and Site Management
Instructor(s)	Mika Räsänen, Lecturer Perttu Hynynen, Development engineer
<p>The subject of this thesis is to compare the most common protection techniques against building vibration. The purpose was to find out different technical methods to construct a vibration protection to a building being constructed near a railroad, how to execute it and what it will cost. The aim of this report is to function as a basic study for construction projects where vibration caused by a nearby railroad should be taken into consideration in the planning and constructing the buildings.</p> <p>This thesis was made for YIT Construction Company. YIT is the contractor of the office building project located in Kerava that was studied in this thesis. The commercial building is located near to a railroad and various types of building protection techniques against the vibration have been used. Information about the very slightest details of installation techniques and constructing costs was gathered from this on-going project. Various literature sources of building protection techniques against vibration were used as a basis and source for this thesis.</p> <p>The result of this thesis is a very comprehensive package that gives detailed information about the different protection methods against vibration, how to implement those methods in practice and what the estimated costs are. This thesis will work as a databank for similar forthcoming projects. After reading this study, a person will understand the basic mechanism of the vibration phenomenon and how it affects a building and the people inside. In this thesis, seven different building protection techniques against vibration are reviewed theoretically and also applied practically in this on-going project. YIT can utilize the results by training their personnel and improving the knowledge about building protection against vibration.</p>	
Keywords	vibration, protection methods against building vibration, vibration caused by railroad, vibration measurement, ground vibration

Sisällys

Käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Taustaa	1
1.2	Työn tavoite	2
1.3	Tutkimusmenetelmät	3
2	Tärinä	3
2.1	Tärinäilmiön fysiikkaa	3
2.1.1	Värähtely	4
2.1.2	Aaltoliike	5
2.2	Tärinän eteneminen maaperässä	6
2.3	Vaikutukset ihmiselle	8
2.4	Vaikutukset rakennukselle	9
2.5	Tärinän mittaaminen	11
2.6	Junan aiheuttama tärinä	14
3	Rakennuksen tärinäsuojaustarpeen arviointi	15
4	Tärinäsuojausmenetelmät	17
4.1	Stabilointi	18
4.1.1	Massastabilointi	18
4.1.2	Pilaristabilointi	19
4.2	Ponttiseinä	20
4.3	Sylomer- ja sylodyn- tärinäeristeet	21
4.4	Kelluva lattia	23
4.5	Massiiviset rakenteet	24
4.6	Kaivanto	25
4.7	Teräsjousiperustus	26
5	Keravan toimitilarakennuksen tärinäsuojausmenetelmien vertailu	27
5.1	Kohteen esittely ja lähtötiedot	27
5.2	Tärinäsuojaustarpeen mitoitus ja suunnittelu	28
5.3	Käytetyt tärinäsuojausmenetelmät ja niiden kustannukset	28

5.3.1	Vinopaalutus	29
5.3.2	Massiiviset perustukset	29
5.3.3	Sylomer- tärinäeriste	30
5.3.4	Rakennesaummat	31
5.3.5	Pilaristabilointi	32
5.3.6	Kelluvat lattiat	33
5.3.7	Huone-huoneessa menetelmä	34
5.4	Tärinäsuojausmenetelmien kokonaiskustannukset	35
5.5	Yhteenveto tärinäsuojausmenetelmistä	36
6	Johtopäätökset	38
7	Pohdinta jatkoa ajatellen	39
8	Yhteenveto	41
	Lähteet	43

Käsitteet

- Amplitudi** Amplitudi ilmaisee värähtelyliikkeen laajuutta sekä värähtelyliikkeen maksimipikkeamaa tasapainoasemasta. Amplitudi on puolet värähtelyn vaihteluvälistä.
- Geofoni** Geofoni on ilmaisilaite, jolla maanpinnan mekaaninen liike muutetaan sähköiseksi jännitesignaaliksi.
- Heräte** Heräte tarkoittaa värähtelyn aiheuttavaa tekijää. Liikenteessä heräte voi aiheutua esimerkiksi junasta.

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Raideliikenteestä aiheutuva tärinä on liikenteestä aiheutuvan melun kaltainen ympäristöhaitta, joka pitää ottaa huomioon jo kaavoitusvaiheessa. Maankäyttö- ja rakennuslaissa todetaan muun muassa seuraavia kaavoitukseen liittyviä asioita: Alueiden käytön suunnittelun tavoitteena on edistää viihtyisän ja terveellisen elin- ja toimintaympäristön luomista, yleiskaavaa luodessa on otettava huomioon mahdollisuudet terveelliseen elinympäristöön ja asemakaava on laadittava siten, että luodaan edellytykset terveelliselle ja viihtyisälle elinympäristölle. (MRL 132/1999: 5§, 39§, 54§.) Myös Suomen rakentamismääräyskokoelmassa (B3, 2004) veloitetaan ottamaan liikennetärinän vaikutukset huomioon muun muassa kaavoituksessa. Melu ja tärinä kuuluvat kaavoituksessa selvitettäviin ympäristöhaittoihin. Uusia ympäristöhaittoja ja ympäristökuormitusta pyritään ehkäisemään ja vähentämään joka vuosi erilaisilla tutkimuksilla ja toimenpiteillä. Ratahallintokeskuksella on tähän asiaan liittyvä ympäristöstrategia, jonka pohjalta on tehty ympäristöohjelma. Ympäristöohjelmassa painotetaan rautatieliikenteen melu- ja tärinäongelmien vähentämistä. (Kaaresoja 2007: 6.)

Uudet asuinalueet ja palvelut kehittyvät hyvien kulkuyhteyksien yhteyteen ja tämän vuoksi junaratojen varsille rakennetaan jatkuvasti lisää rakennuksia. Nykypäivänä uusissa rakennuksissa on paljon tiloja ja tekniikkaa, jotka ovat erittäin herkkiä junaradan aiheuttamalle tärinälle. Myös ihmisten tärinänsietokyvyn on havaittu alentuneen viime aikoina. (Mäkelä ym. 2002: 154.) Samaan aikaan myös junaradan liikennöintiä pyritään tehostamaan lisäämällä junien nopeuksia ja kokonaismassaa. Tämä johtaa siihen, että junien kuormitus ja nopeus lisäävät maaperän värähtelyä etenkin savikkoisilla alueilla.

Vanhaan olemassa olevaan junarataan on hankalaa ja kallista toteuttaa vaimennusmenetelmää, joka ehkäisisi junasta ympäristöön leviävää tärinää. Ainoaksi keinoksi tärinän vähentämiseksi vanhoilla ratalinjoilla on osoittautunut nopeusrajoituksen alentaminen, mutta tätä keinoa ei voida käyttää vilkkaasti liikennöidyillä rataosuuksilla. (Ratahallintokeskus 2006: 11.) Uuteen rakennettavaan rakennukseen siirtyvää tärinää voidaan kuitenkin vähentää erilaisilla rakenneteknisillä menetelmillä. Rakennukseen junaradasta siirtyvää tärinää voidaan vaimentaa tekemällä junaradan ja rakennuksen väliin

katkaisuseinämä tai eristämällä itse rakennus tai sen osa. Erilaisia tärinäsuojausmenetelmiä on olemassa paljon ja niiden työteknisestä toteutuksesta sekä kustannuksista on olemassa tietoa suhteellisen vähän.

Tämä opinnäytetyö tehdään YIT Rakennus Oy:lle. Työssä tarkastelun kohteena on Keravalla sijaitseva toimitilarakennushanke, jonka pääurakoitsijana toimii YIT:n Uudenmaan toimitilarakennusyksikkö. Hanke on laajuudeltaan 6712 kerrosneliömetrin kokoinen neljä-viisikerroksinen rakennus, jonka tilaaja on Keravan kaupunki.

Hankkeen rakentaminen on aloitettu keväällä 2013 ja arvioitu valmistuminen on syyskuussa 2014. Rakennus sijaitsee vilkkaasti liikennöidyn junaradan välittömässä läheisyydessä, mikä aiheuttaa lisähaasteita niin suunnittelulle kuin toteutuksellekin. Kohteeseen toteutetaan useita erilaisia rakenneteknisiä ratkaisuja, joilla ehkäistään junaradasta rakennukseen siirtyvää tärinää. Rakennuksessa toimii valmistuttuaan palveluiden toimittajia useilta eri sektoreilta, kuten esimerkiksi hammaslääkäri. Monipuolisen käyttäjökunnan vuoksi rakennuksen tärinäsuojauksen onnistuminen on ensiarvoisen tärkeää.

1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön aiheena on vertailla erilaisia yleisimpiä rakennusten tärinäsuojausmenetelmiä. Tarkoituksena on selvittää junaradan läheisyyteen rakennettavan rakennuksen eri tärinäsuojausmenetelmien työtekniistä toteutusta, toimintaperiaatetta ja kustannuksia. Kirjallisen lopputuotteen tavoite on toimia pohja-aineistona hankkeissa, joissa junaradan aiheuttama tärinä täytyy huomioida rakennuksen suunnittelussa ja toteutuksessa.

Tutkimuskysymykset:

- Millä perusteella lähdetään arvioimaan rakennuksen tärinäsuojaustarvetta?
- Minkälaisia tärinäsuojausmenetelmiä junaradan läheisyydessä käytetään ja miten ne eroavat toisistaan?

- Kuinka paljon värinäsuojusratkaisut vaikuttavat koko rakennushankkeen kustannuksiin?

1.3 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön tekemiseen tarvittaviin pohjatietoihin lukeutuvat useat värinää fysikaalisena ilmiönä käsittelevät teokset. Kirjallisuuden avulla työssä tuodaan aluksi ilmi useita eri värinäsuojausmenetelmiä, niiden teoriaa ja toimintaperiaatetta. Aikaisempien tutkimusten ja värinäraporttien perusteella pyritään selvittämään värinän aiheuttamaa vaikutusta ihmisiin ja rakennuksiin.

Tarkastelun kohteena ja samalla esimerkkityömaana toimii Keravalle rakenteilla oleva toimitilarakennus. Kohteen suunnitelmat ja työselostukset toimivat pohjatietona kohteessa käytetyistä värinäsuojausmenetelmistä. Aliurakkasopimuksista ja tilausvahvistuksista saadaan selville menetelmistä aiheutuneet kustannukset. Menetelmien työtekemisestä puolesta saadaan tietoa kesällä tehdyistä muistiinpanoista, tehtäväsuunnitelmista ja haastatteleamalla työmaan toimihenkilöitä sekä aliurakoitsijoita.

2 Värinä

Värinäilmiön aiheuttavia lähteitä on olemassa useita. Värinää aiheuttaa muun muassa maanjäritykset, rakennustöiden aikaiset räjäytystyöt, tieliikenne ja raideliikenne. Tässä opinnäytetyössä keskitytään käsittelemään ainoastaan junan aiheuttamaa värinää ja sen aiheuttamia ilmiöitä.

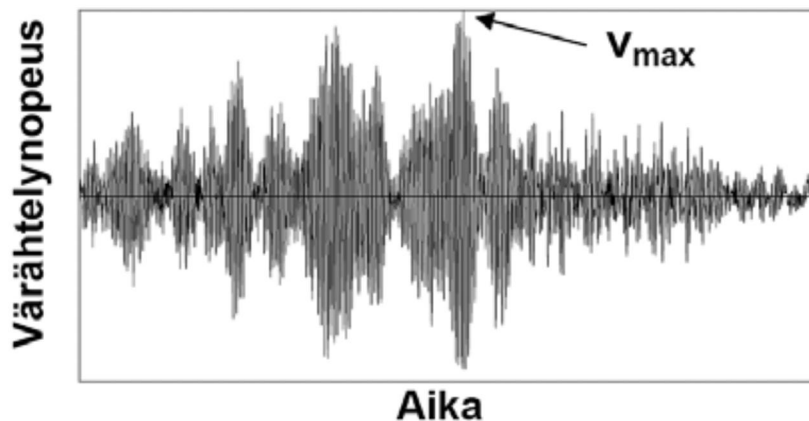
2.1 Värinäilmiön fysiikkaa

Materiaalissa kulkeva paineaalto saa aikaan materiaaliin hetkellisiä muodonmuutoksia ja synnyttää värinäilmiön. Värinä ilmenee mm. materiaalin pinnan siirtyminä. Värinässä materiaalin kuviteltu piste poikkeaa hetkellisesti tasapainoasemasta ja värinän lakattua se palaa takaisin alkuperäiseen asemaansa. Värinä on siis mekaanista värähtelyä tasapainoasemansa suhteen. Värinä esiintyy kiinteissä aineissa värähtelynä ja yleensä se etenee aaltomaisesti. (Törnqvist & Nuutilainen 2002: 4.)

2.1.1 Värähtely

Värähtely on fysiikassa liikkeen perusmuoto etenemisen ja pyörimisen ohella. Värähtely on jaksollista liikettä, jossa tasapainoaseman ympärillä tapahtuu liikettä tietyin aikaväleihin. (Lehto & Luoma 1994: 124.)

Yksi värähdys eli jakso syntyy, kun kappale liikkuu tietystä vaiheesta takaisin samaan vaiheeseen, esimerkiksi ääriasennosta takaisin alkuperäiseen asentoonsa. Värähtelyn suurin poikkeama tasapainoasemasta ilmoitetaan amplitudina. Amplitudi ilmaisee värähtelyliikkeen laajuuden. Värähtelyn huippuarvo vakioamplitudisella värähtelyllä on sama kuin värähtelyn amplitudi. Värähtelyn eli heilahdusnopeuden huippuarvon yksikkö on v, \max (mm/s). (Suvanto 2005.)

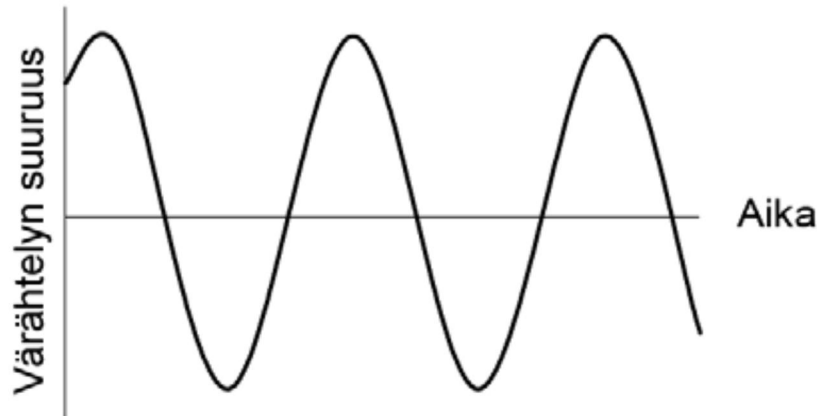


Kuva 1. Värähtelyn huippuarvo on mitatun värähtelysignaalin itseisarvoltaan suurin arvo. (Kaaresoja 2007: 11.)

Yhteen värähdykseen kuluva aika kutsutaan värähdysajaksi eli jaksonajaksi. Värähdysliikkeen taajuus ilmaisee, kuinka paljon kappale luonnostaan värähtelee. Taajuus f saadaan jakamalla värähtelyjen lukumäärä niihin kuluneella ajalla. Taajuuden yksikkö on hertzi (Hz). (Ympäristösuojelulaki 2000: 204.)

Värähdysten heilahdusliikkeistä yksinkertaisin on sinimuotoinen ja se sisältää vain yhden taajuuskomponentin. Tätä kutsutaan harmoniseksi värähtelyksi. Luonnossa heilahdusliike ei ole juuri koskaan sinimuotoinen, mutta silti tärinää käsitellään usein sini-

muotoisena. Tämä johtuu siitä, että eri suureiden väliseen vertailuun voidaan käyttää harmonisen värähtelyn yhtälöitä ja näin tarkastelu helpottuu. (Vuolio & Halonen 2010: 298.)



Kuva 2. Siniaallon muotoinen värähtely. (Kaaresoja 2007: 9.)

2.1.2 Aaltoliike

Värähdysliike etenee kahdella eri tavalla joko pitkittäisaaltolina tai poikittaisaaltolina. Pitkittäisaallossa väliaineen hiukkaset värähtelevät samansuuntaisena aallon etenemissuunnan kanssa. Poikittaisaallossa hiukkaset värähtelevät aallon etenemissuuntaan nähden kohtisuorassa. Poikittaisaallot voivat edetä ainoastaan kiinteissä aineissa, kun taas pitkittäinen aaltoliike voi edetä kiinteän aineen lisäksi nesteessä ja kaasussa. (Halme 1970: 7.)

On normaalia, että useita aaltoliikkeitä etenee samanaikaisesti samassa väliaineessa. Eri aaltoliikkeiden yhteisvaikutusta kutsutaan interferenssiksi. Sen tuloksena syntyyä summa-aaltoa sanotaan interferenssiaalloksi. Kun eri aaltojen poikkeamat ovat yhdensuuntaiset, aaltoliikkeet vahvistavat toisiaan. Vastaavasti, jos poikkeamat ovat vastakkaisuuntaiset, aaltoliikkeet heikentävät toisiaan. Interferenssi on tunnusomaista kaikille aaltoliikkeille, mutta erityisesti sitä tapahtuu rajapinta-aalloissa.

Aaltoliikkeen mukana kulkeutuu energiaa, joka ilmenee värähdysliikkeen energiana. Kun värähdysliike etenee väliaineessa, aaltoliike vaimenee ja osa sen energiasta muuttuu lämmöksi. Tästä sanotaan, että väliaine absorboi aaltoja. Kun aaltoliike törmää rajapintaan, joka voi olla esimerkiksi kallion ja moreenin rajapinta, osa energiasta hei-

jastuu takaisin alkuperäiseen aineeseen ja osa energiasta läpäisee rajapinnan. Mitä suurempi ero on aineiden kiinteydessä, sitä pienempi osa energiasta menee rajapinnan läpi ja sitä suurempi osa heijastuu takaisin. (Lehto & Luoma 1994: 146- 151.)

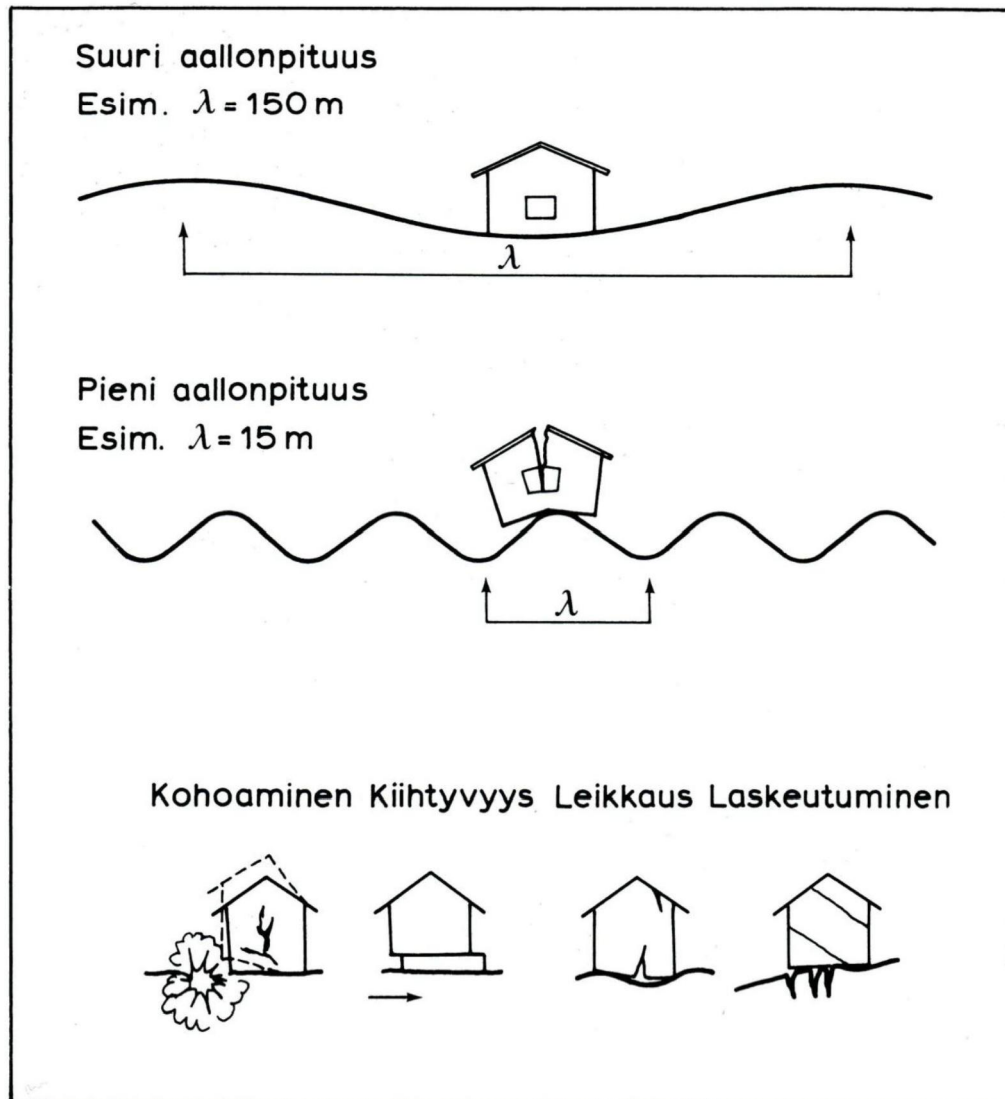
2.2 Tärinän eteneminen maaperässä

Maa- ja kallioperän ominaisuudet vaikuttavat suuresti tärinän etenemiseen maaperässä. Maalajin tiiviyys ja lujuus, tyyppi ja rakeisuus, kerroksellisuus, vesipitoisuus sekä rapautuneisuus ja rakoilu ovat ominaisuuksia, jotka vaikuttavat olennaisesti siihen, kuinka hyvin tärinä etenee maaperässä.



Kuva 3. Kuvassa tärinäaallon eteneminen junaradasta rakennukseen pehmeässä maakerroksessa. (Törnqvist 2002: 15.)

Tärinä etenee aaltoliikkeenä maaperässä. Tärkein aaltoliikkeen etenemisnopeuteen vaikuttava tekijä on perustan olosuhteet eli väliaine ja aaltotyyppi. Pehmeillä maalajeilla, kuten esimerkiksi savessa, aaltoliikkeen etenemisnopeus on pienin. Mitä hitaampi etenemisnopeus on, sitä pienemmän aallonpituuden se synnyttää. Pienempi aallonpituus on vaarallisempi rakennuksille. Tämä johtuu siitä, että rakennus ei pysty ns. ratsastamaan aallolla. Ilmiö on esitetty seuraavassa kuvassa 4. (Vuolio & Halonen 2010: 301- 302.)

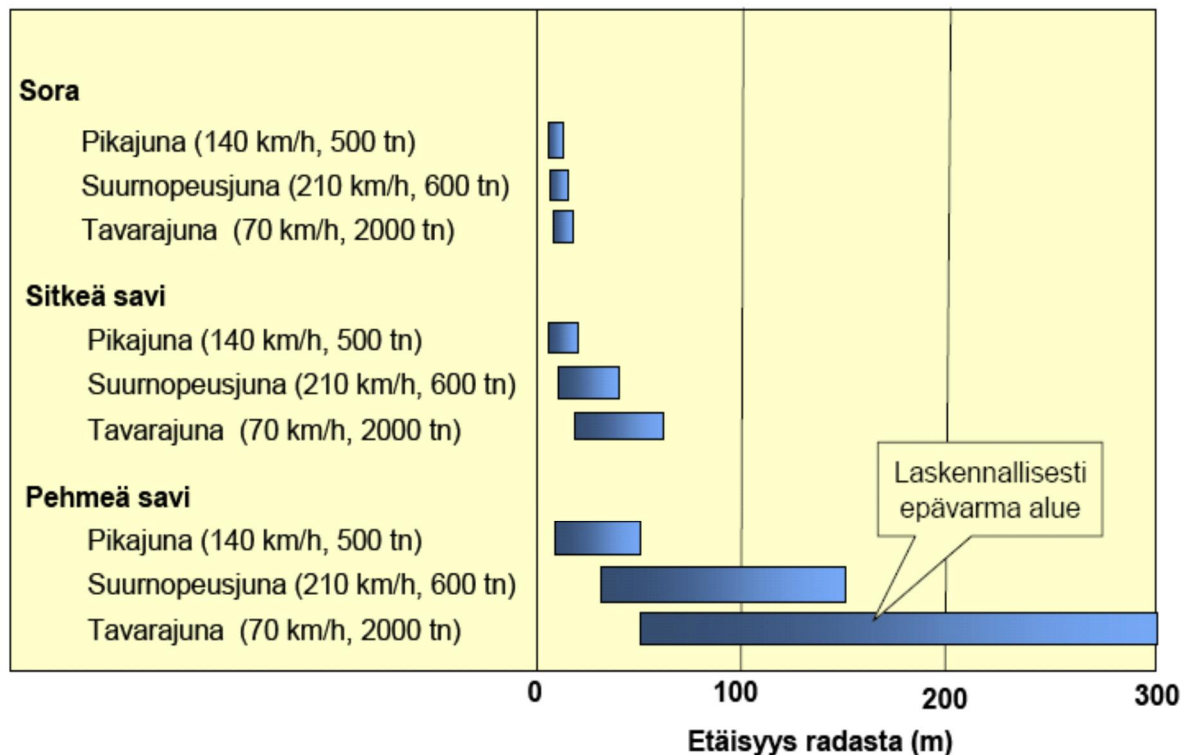


Kuva 4. Aallonpituuden vaikutus rakennuksen vaurioitumiseen. (Vuolio 1991: 168.)

Tärinä leviää parhaiten savimailla, joissa dominoivat matalataajuiset aallot. Matalataajuiset aallot vaimenevat hitaasti ja tämän vuoksi tärinä leviää kauas herätelähteestä. Vastaavasti karkearakeisissa maalajeissa, kuten kalliossa ja moreenissa tärinän siirtyminen on pienempää, koska maassa dominoivat aallot ovat korkeataajuisia. Korkeataajuiset aallot vaimenevat nopeasti, eikä tärinä pääse leviämään laajalle alueelle.

Kuten värähtely yleensä, myös tärinä maaperässä määritellään mekaaniseksi värähtelyksi tasapainoaseman suhteen. Junasta aiheutuva tärinä syntyy kiskon ja junan pyörien välillä muodostuvasta tärinästä, joka edelleen siirtyy junaradan rakenteiden ja maaperän välityksellä rakennuksen runkorakenteisiin. Seuraavassa kuvassa 5 on esitetty

erilaisilla maaperäolosuhteilla etäisyyksiä, jolloin tärinä saattaa olla haitallinen junaradan läheisyydessä oleville rakennuksille. (Talja 2004: 39.)

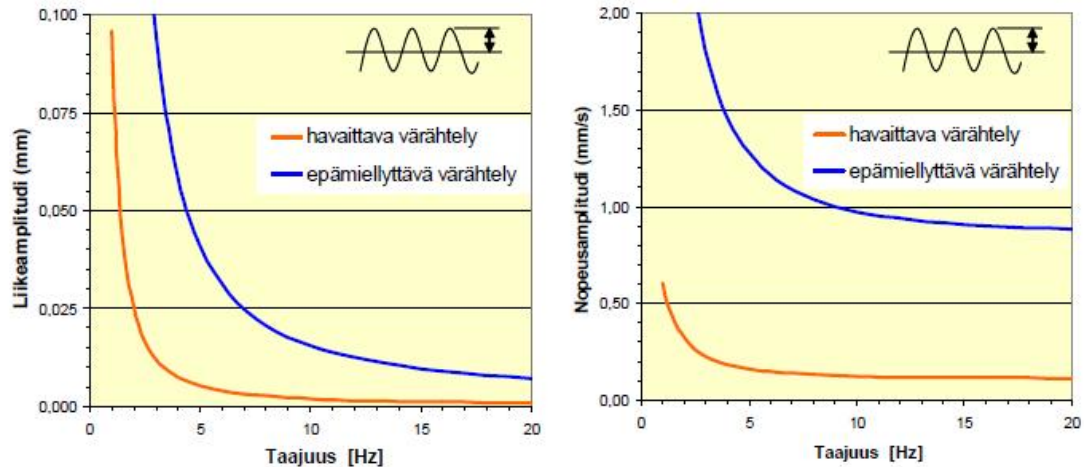


Kuva 5. Eri maalajeilla arvioituja etäisyyksiä, jolloin tärinä saattaa olla haitallinen rakennukselle. (Talja 2004: 15.)

2.3 Vaikutukset ihmiselle

Ihminen tuntee ja aistii värähtelyt, jotka ovat hyvinkin pieniä. Värähtelyn suuruus sekä taajuus vaikuttavat siihen, miten ihminen aistii tärinän. Kun tärinän suuruutta kuvataan siirtymän avulla, jo alle 0,01 mm:n liikeamplitudi on havaittavissa. Tämä on mahdollista kovilla maaperillä, joilla dominoiva taajuus on usein yli 20 hertziä.

Värähtelyn suuruutta kuvataan yleensä liikeamplitudin sijaan värähtelynopeudella, jolloin yli 10 hertzin taajuuksilla ihmisen herkkyys tärinälle on riippumaton nopeusamplitudista. Yli kymmenen hertzin taajuuksilla liikenteen aiheuttama tärinä tuntuu epämiellyttävältä, kun kyseessä on yli 1 mm/s värähtely. Taajuusalueet, jotka ihminen kokee merkittävimmin, ovat kovilla soramailla 10-25 Hz välillä ja pehmeillä savimailla 5-15 Hz välillä.



Kuva 6. Ihmisen herkkyys säännölliselle värähtelylle. Vasemmassa kuvassa värähtely esitetään liikkeen avulla ja oikeassa kuvassa värähtelyn nopeuden avulla. (Talja 2004: 13.)

Liikenteen aiheuttaman tärinän ihminen kokee epämiellyttävänä tuntemuksena kehoon. Kuitenkin tärinä koetaan yksilöllisesti eikä ihmisen iällä, sukupuolella, sosiaalisella asemalla tai asuinalueella ole havaittu olevan merkitystä tärinän kokemiseen. Myöskään tärinälähteellä ei ole todettu olevan merkitystä tärinän kokemisen herkkyyteen. Häiritsevää tärinää ei ole vielä Suomessa virallisia ohjearvoja, mutta VTT:n tutkimus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksista pyrkii tuomaan esille erilaiset värähtelyluokat ja raja-arvot. Tutkimus perustuu norjalaiseen standardiin NS8176 (1999). Tärinästä ihmisille aiheutuvia konkreettisia haittoja ovat mm. asumismukavuuden väheneminen, keskittymiskyvyn häiriintyminen, nukkumisen häiriintyminen sekä pelko rakenneaurioista ja kiinteistön arvon alenemisesta. (Talja 2004: 11- 13.)

2.4 Vaikutukset rakennukselle

Tärinä syntyy herätelähteestä, joka tässä tarkastelussa on juna. Tärinä siirtyy maata pitkin kohti rakennusta, jossa se siirtyy edelleen rakennuksen perustuksiin ja siitä runkoon ja lattiaan. Maasta perustuksiin siirtyessä, tärinän suuruus ja taajuussisältö muuttuvat. Tärinän taajuus ja rakenteiden ominaistaajuuksien suhde määrää kuinka hyvin tärinä siirtyy rakenteisiin. Tämän lisäksi maasta rakenteisiin siirtyvän tärinän suuruuteen vaikuttaa rakennuksen muodot ja massa, perustamistapa, perustusten jäykkyys sekä maaperän värähtelyn suuruus, suunta, taajuus ja aallonpituus. Edetessään perus-

tuksista ylöspäin, värähtelyn suuruuteen vaikuttavat rungon ja lattian massa ja jäykkyys sekä perustuksista siirtyvän värähtelyn ominaisuudet. (Talja ym. 2008: 24.) Yleispätevä sääntönä voidaan pitää, että mitä massiivisemmat perustukset ja mitä suurempi rakennus on, sitä vähemmän se on altis värähtelylle. Parhaiten värähtelyä vaimentavat kookkaat teräsbetoniperustukset, jotka kestävät hyvin taivutusta, puristusta, leikkausta ja vetoa. Perustuksien paalutus ei ole ratkaisu värähtelyn vähentämiselle, ellei rakennusta eristetä maakontaktista riittävästi.

Rakennuksen perustuksissa värähtelyn suuruus on korkeintaan yhtä suuri kuin maassa, mutta siitä ylöspäin siirtyessä resonanssi saattaa voimistaa värähtelyä merkittävästi. Kun rakennuksen oma värähtelytaajuus ns. ominaistajuus on lähellä maaperän taajuutta, syntyy resonanssi. Resonanssista johtuen, saattaa värähtely voimistua kymmenkertaiseksi. (Talja ym. 2008: 125 - 128.) Tällaisessa tilanteessa, missä värähtelijä luovuttaa toiselle energiaa tämän ominaistajuudella, voi rakennus pahimmassa tapauksessa romahtaa. Tämän vuoksi kaikki mahdolliset ulkopuoliset voimat ja niiden aiheuttama värähtely on otettava suunnitelmissa huomioon erityisen tarkasti. (Lehto & Luoma 1994: 134.)

Rakennusten vaurioitumisriskin kannalta Suomessa ei ole virallisia raja-arvoja värähtelylle, mutta kuitenkin vaurioitumisriskiä voidaan arvioida hallitsevan taajuuden (Hz) ja heilahdusnopeuden resultantin suurimman arvon v_{max} (mm/s) avulla. Seuraavassa taulukossa on esitetty VTT:n suositukset värähtelyn aiheuttamalle rakennusten vaurioitumisriskille.

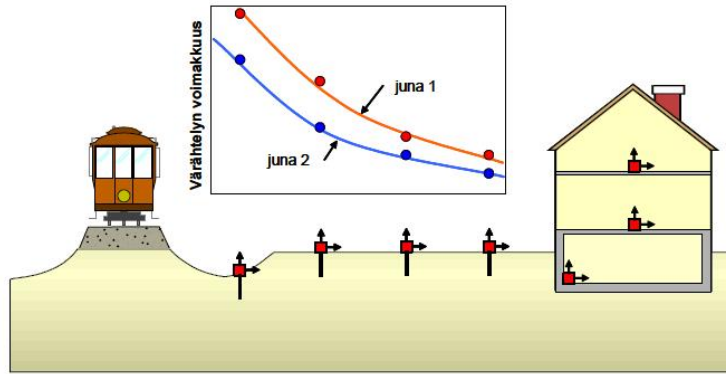
Taulukko 1. Taulukossa on esitetty VTT:n suositusarvot rakennusten vaurioitumisriskille. (Kankare 2009: 4.)

Tärinäalttiusluokka	Hallitseva taajuus (Hz)	Resultantin maksimi v,max (mm/s)
1. Normaalikuntoiset hyvin jäykistetyt rakennukset. Teräs- ja betoniset teollisuusrakennukset, muut teräsrakenteet, sillat ja muut niihin rinnastettavat rakenteet.	<10	8
	10...30	10
	>30	12
2. Perinteisesti rakennetut betoni-, tiili- tai puurakenteiset asuin- ja liikerakennukset tai muut niihin rinnastettavat rakennukset ja rakenteet. Luokan 1 rakennukset, joissa on muurattuja kellariseiniä tai tiiliverhoilu.	<10	4
	10...30	5
	>30	6
3. Erityisen herkäät rakennukset tai rakenteet ja kulttuurihistoriallisesti tai yhteiskunnallisesti merkittävät rakennukset.	<10	2
	10...30	3
	>30	4

2.5 Tärinän mittaaminen

Uutta rakennusta suunnitellessa, tulee junaradan läheisyydessä olevalla alueella suorittaa tärinämittauksia. Tärinää mitataan maaperästä ja ympärillä olevista rakennuksista. Alueen tärinämittaukset on hyvä suorittaa mahdollisimman hyvissä ajoin, jotta tieto mahdollisista poikkeavista rakenneratkaisuista saadaan suunnitelmiin mukaan. Mittaustuloksien perusteella voidaan alkaa suunnitella erilaisia tärinäsuojausmenetelmiä tärinän vähentämiseksi. Tällä tavalla saadaan hyvissä ajoin arvio tulevista tärinäsuojausten aiheuttamista kustannuksista.

Tärinää mitataan mittauslaitteistolla, joka koostuu mittausantureista, niiden vahvistimisista, signaalin esisuodattimista ja tallennusjärjestelmästä. Mittauksessa käytetään kiihtyvyyssantureita tai geofoneja ja niiden tulee toimia luotettavasti taajuusalueella 1-80 Hz.



Kuva 7. Periaatekuva värähtelyn mittaamisesta junaradan läheisyydessä. (Törnqvist & Talja 2006: 12.)

Rakennuksessa värähtelyä mitataan kolmessa eri pääsuunnassa: talon harjan suunnassa eli pituussuunnassa, poikittaissuunnassa ja pystysuunnassa. Mittauspisteitä on ympäri rakennusta. Ylimmän kerroksen lattiatasolta mitataan rakennuksen vaakasuuntainen värähtely. Piste lattiasta valitaan siten, että siitä saadaan suurin värähtelyluke ma. Värähtely on suurinta keskellä lattiaa, jossa kantavan rakenteen jänneväli on suurin. Mikäli rakennuksessa on erilaisia lattiarakenteita, on värähtely mitattava useamman huoneen lattiasta.

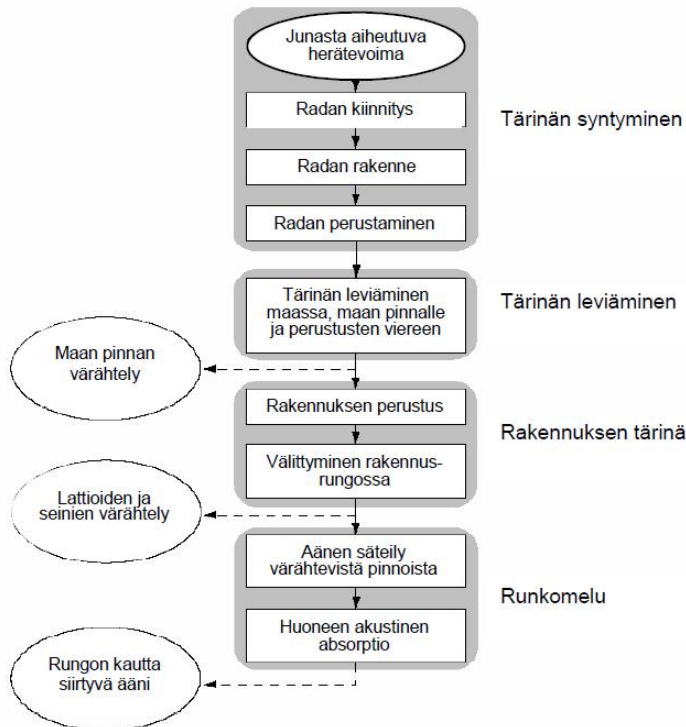
Näiden lisäksi mitataan myös perustusten värähtelyt ja maaperän pystysuuntainen värähtely. Perustusten värähtelyarvoista saadaan tietoa, kun arvioidaan värähtelyjen merkitystä rakennuksen vaurioitumiseen. Perustusten värähtelyt voidaan mitata myös rakennuksen sisäpuolelta kantavien seinien alareunan kohdalta. Maaperän värähtelyä mitattaessa tulisi mittauspisteiden sijaita tarpeeksi kaukana rakennuksesta, ettei rakennus vaikuta maaperän värähtelyihin. Mittauksien isoin tavoite on määrittää suurin ihmisen kokema värähtely. (Talja 2004: 18- 19.) Mittauksien tuloksina saadaan heilahdusnopeuksien eli värähtelyn huippuarvot v_{max} (mm/s). Seuraavassa taulukossa on esitetty kansainvälisten standardien ja ohjeiden suosituksia heilahdusnopeuksien maksimiarvoiksi.

Taulukko 2. Kansainvälisten ohjeiden ja standardien suosituksia värähtelyiden suositusarvoiksi. Suomessa käytössä olevat suositukset on lihavoitu. (Talja 2005: 29)

v(mm/s)	Soveltamisalue, häiriölähde ja kansainvälinen normi
$\leq 1,0$	Vanhat rata- ja asuinalueet, junat (Banverket 1997)
$\leq 0,6$	Olosuhteet joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla, kisko- ja tieliikenne (NS 8176 1999)
$\leq 0,6$	Uudet teollisuusalueet, kisko- ja tieliikenne (DIN 4150-2, 1999)
$\leq 0,6$	Maanpäällinen kiskoliikenne vanhoilla asuinalueilla (DIN 4150–
$\leq 0,4$	Uudet asuinalueet ja peruskorjattavat väylät, junat (Banverket 1997)
$\leq 0,36$	Uudet toimistoalueet, junat (FRA 1998)
$\leq 0,3$	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa, kisko- ja tieliikenne (NS 8176, 1999)
$\leq 0,3$	Uudet seka-alueet, kisko- ja tieliikenne (DIN 4150–2, 1999)
$\leq 0,3$	Maanalainen kiskoliikenne vanhoilla asuinalueilla (DIN 4150–2, 1999)
$\leq 0,25$	Uudet asuinalueet, juna (FRA 1998)
$\leq 0,25$	Uudet asuinalueet, kisko- ja tieliikenne (DIN 4150–2, 1999)
$\leq 0,15$	Suhteellisen hyvät olosuhteet, kisko- ja tieliikenne (NS 8176, 1999)
$\leq 0,15$	Erytysrakennukset, jotka on tarkoituksellisesti suunniteltu häiriöttömäksi, kisko- ja tieliikenne (DIN 4150-2)
$\leq 0,10$	Hyvät asuinolosuhteet, kisko- ja tieliikenne (NS 8176,1999)

2.6 Junan aiheuttama tärinä

Tärinä syntyy junaraiteen ja junan pyörien välisistä voimista. Raiteissa olevat epätaisuudet, kuten kiskonjatkokset, kiskon vialliset kohdat ja vaihteen ylitykset aiheuttavat pyöräkuorman jopa kolminkertaisen kuorman. (Mäkelä ym. 2002: 154.)

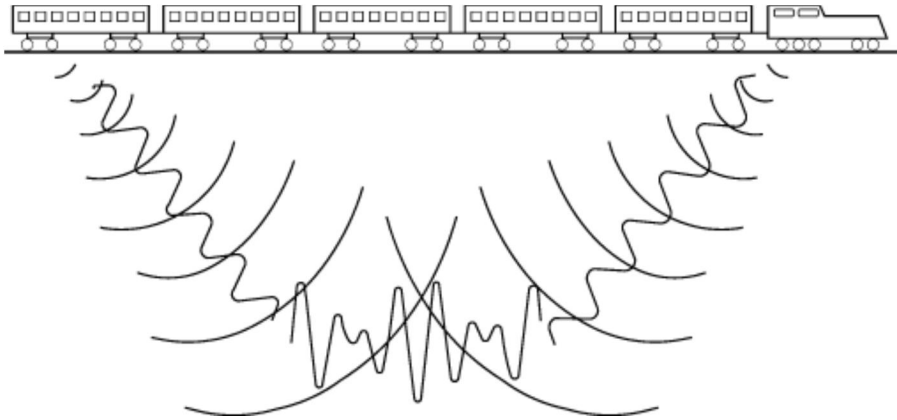


Kuva 8. Kuvassa esitetään junaliikenteestä aiheutuvan tärinän leviäminen ympäristön kautta rakennukseen. (Törnqvist & Talja 2006: 12.)

Junan kaikki akselit muodostavat erillisiä, yksittäisiä herätelähteitä ja niistä muodostuu pitkä nauhamainen herätelähde. Nämä yksittäisten akselien muodostamat akselikuormat liikkuvat samaan suuntaan toisiaan seuraten. (Törnqvist & Nuutilainen 2002: 10.) Tästä syntyy ilmiö nimeltä ohitustaajuus. Ohitustaajuus riippuu junan tyypistä sekä nopeudesta. Hitaat tavarajunat ja henkilöjunat aiheuttavat matalia ohitustaajuuksia. Esimerkiksi tavarajunan kulkiessa nopeusvälillä 60- 80 km/h, sen akselit aiheuttavat ohitustaajuuden, joka on 1,1- 5,2 Hertsiä. Henkilöjuna aiheuttaa miltei samanlaisen ohitustaajuuden nopeusvälillä 100- 140 km/h. Tärinän kannalta tämä taajuus on vaarallinen silloin kun ympäristössä on pehmeää maaperää, jonka ominaistajuus on sama. Vielä

tätäkin vaikeammaksi tilanne menee, jos ympäristössä olevien rakennuksien ominaistaajuus on samalla taajuudella. (Mäkelä ym. 2002: 155.)

Junan nopeuden ja painon lisäksi ratarakenteen ulkopuoliseen tärinään vaikuttaa junan pituus ja se, miten tasaisesti kuorma on junaan lastattu. Jos juna on pitkä, se voi aiheuttaa interferenssi-ilmiön, jossa junan alku- ja loppupään aiheuttamien tärinöiden taajuuksien välille muodostuu vaihe-ero. Interferenssi-ilmiöstä johtuen tärinäaalto-rintamat saattavat summautua tietyn välimatkan päässä. Junakaluston kunto vaikuttaa myös oleellisesti tärinän voimakkuuteen. Mikäli junan jousitus on huonokuntoinen ja pyörät ovat kuluneet, tärinän herätevoima saattaa kasvaa huomattavasti. (Törnqvist & Nuutilainen 2002: 11- 12.)



Kuva 9. Interferenssi-ilmiö, joka aiheutuu junan aiheuttamien aaltojen yhteisvaikutuksesta. (Törnqvist & Nuutilainen 2002: 11.)

3 Rakennuksen tärinäsuojaustarpeen arviointi

Suomessa lait ohjaavat rakentamista siten, että myös tärinän huomioiminen rakennuksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon. Kun rakennuksen tärinäsuojaustarvetta suunnitellaan, on rakennuttajan ja pääurakoitsijan otettava huomioon ympäristönsuojelulait, sillä ne korostavat eri tahojen vastuita. Esimerkiksi laissa ympäristövahinkojen korvaamisesta (N:o 737/1994) todetaan, että liikennetärinän aiheuttamasta vahingosta yksityisen henkilön tulee saada korvauksia ja korvausvelvollisuus on sillä, jonka aiheuttamasta toiminnasta vahinko johtuu. Lait siis ohjaavat vastuun toiminnan harjoittajalle

ja sen vuoksi rakennuttajan tulee tietää omat vastuut jo suunnitteluvaiheessa, ettei vahingon aiheuduttua tule yllättäviä korvauskustannuksia. (Törnqvist 2006: 10.)

Ennen kuin rakennuksen tärinäsuojaustarvetta voidaan lähteä arvioimaan, tulee selvittää useita erilaisia asioita, kuten tulevan rakennuksen ominaisuudet ja etäisyys junaradasta, maaperäolosuhteet alueella ja junaradan liikennetyyppi. Myös mahdolliset tärinämittaukset alueella on hyvä suorittaa hyvissä ajoin.

Uuden rakennuksen tärinäsuojaustarvetta arvioidaan kolmella eri tasolla suunnitteluvaiheessa. Ensimmäinen arviointitaso perustuu kokemukseräiseen turvaetäisyyteen, jota kauempana ei nähdä tarvetta tarkemmalle värähtelytarkastelulle. Tässä tarkastelussa otetaan huomioon vain liikennetyyppi ja maaperä. Seuraavassa taulukossa esiintyvät turvaetäisyydet perustuvat kirjallisuudesta ja värähtelymittauksista saatuun kokemukseen.

Taulukko 3. Arvio turvaetäisyydestä, jota kauempana ei tarvita tarkempaa värähtelyselvitystä uusilla asuinalueilla. (Talja ym. 2008: 20.)

Turvaetäisyys	Liikennetyyppi	Pehmein maalaji
500 m	Tavarajunaliikenne (3500 tn, 90km/h)	Pehmeä maa
200 m	Pikajunaliikenne (140 km/h)	Pehmeä maa
100 m	Tavara- ja pikajunat	Kova maa

Taulukosta käy ilmi, että pienin junaliikennetärinän vaikutusalue on kovissa karkearakeisissa maalajeissa, moreenimaalajeissa ja kalliossa. Vastaavasti pehmeillä maalajeilla, kuten savessa, turpeessa ja liejussa, liikennetärinän vaikutusalue ulottuu pisimmälle. Tätä ensimmäistä arviointitasoa suositellaan käytettäväksi maakuntakaava- ja yleiskaavatasolla, kun rakentamista ohjataan yleispiirteisillä aluevarauksilla.

Toinen arviointitaso perustuu maaperän tärinän laskennalliseen arvioon. Arvio perustuu laskentakaavoihin, joissa voidaan ottaa huomioon liikenteen paino, nopeus, väylän ominaisuudet ja maaperäolosuhteet. Tämä laskennallinen arviointitapa on epätarkka, mutta antaa hyvän käsityksen, mitkä asiat vaikuttavat värähtelyn suuruuteen. Toisen

arviointitason apuna käytetään mittaustuloksia, joilla voidaan tarkistaa tulosten luotettavuus. Myös kyselytutkimusta ihmisten mielipiteistä tärinän häiritsevyydestä voidaan käyttää apuna tässä arviointimenettelyssä. Tätä arviointitasoa käytetään, kun ollaan ensimmäisen arviointitason mukaan riskialueella ja kun yleiskaavassa ja asemakaavassa rakentamista ohjataan yksityiskohtaisesti.

Kolmas arviointitaso perustuu maaperän tärinämittauksiin. Mittaukset suoritetaan rakennuspaikalla ja ne antavat varmimman kuvan värähtelytasoista ja rakennuksen tärinäsuojaustarpeesta. Toisen arviointitason mukaisissa laskennallisissa arvoissa on epävarmuuksia ja paikanpäällä tehtävät mittaukset ovat sen vuoksi perusteltuja. Mittauksia suositellaan tehtäväksi ainakin silloin, kun rakennuksessa arvioidaan ilmenevän resonanssia. Rakennusalueelta mitataan mittauslaitteistolla maaperän vaaka- ja pystyvärähtelyt.

Kun rakennuksen tärinäsuojauksen tarve on arvioitu, voidaan tuloksien perusteella aloittaa suunnittelu tärinän vähentämiseksi. Kohteen rakennesuunnittelija tekee yhteistyötä erikoissuunnittelijan kanssa, joka yleensä on akustinen suunnittelija tai muu tärinään erikoistunut spesialisti. (Talja ym. 2008: 19- 21.)

4 Tärinäsuojausmenetelmät

Rakennuksen tärinäsuojauksen toteuttamiseksi on olemassa useita eri vaihtoehtoja. Junaradasta rakennukseen aiheutuvaa tärinää voidaan vähentää kolmella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on eristää itse junarata, jolloin junaradasta lähtevä tärinä vähenee. Tämä tapa on helpoin toteuttaa uuden junaradan rakennusvaiheessa, sillä junaradan alle asennettavat jouset tai eristeet ovat todella hankala asentaa olemassa olevaan rataan. Tämä vaihtoehto jätetään käsittelemättä tässä työssä, koska työ on rajattu käsittelemään uuden rakennuksen tärinäeristämistä.

Tässä luvussa tuodaan esille yleisimmin käytetyt materiaalit ja toteutustavat tärinäsuojauksen toteuttamisesta. Esille myös tuodaan tärinäsuojausmenetelmän toimintaperiaate. Asiaa käsitellään kahdella tavalla; junaradan ja rakennuksen väliin asennettava tärinäsuojaus ja itse rakennukseen tehtävät tärinäsuojausmenetelmät.

4.1 Stabilointi

Stabilointi on maanrakennusmenetelmä, jolla parannetaan huonojen maapohjien laadullisia ominaisuuksia, kuten esimerkiksi kantavuutta. Menetelmän avulla vähennetään alueellisia painumia ja kokonaisuudessaan parannetaan alueen rakennettavuutta. Stabilointi on myös yksi keino vähentää tärinän siirtymistä herätelähteestä rakennukseen. Stabilointimenetelmiä on kaksi ja ne ovat massa- ja pilaristabilointi. Stabilointi tehdään junaradan ja rakennuksen väliin ja se vähentää maaperän tärinää vaimentamalla ja heijastamalla sen takaisin.

4.1.1 Massastabilointi

Massastabilointia käytetään yleensä maaperässä, joka koostuu liejusta tai turpeesta. Massastabiloinnin tavoite on saada aikaiseksi homogeeninen laattamainen vyöhyke, joka syntyy maamassan ja sideaineen sekoittamisen tuloksena. Lieju- tai turvekerroksen alapuolinen savikerros ensin pilaristabiloidaan ja sen jälkeen ylemmälle kerrokselle suoritetaan massastabilointi. Massastabilointia käyttämällä voidaan korvata suuret massanvaihdot.

Massastabilointi toteutetaan kaivinkoneella, johon on asennettu sekoituslaitteisto ja sideaineensyöttöjärjestelmä. Sideaine syötetään suuresta säiliöstä syöttöjärjestelmän avulla sekoituslaitteelle, joka sekoittaa sideaineen maamassan kanssa. Kalustosta riippuen, massastabilointi voidaan ulottaa viiden metrin syvyyteen asti. (Määttä 2000: 18-20.)



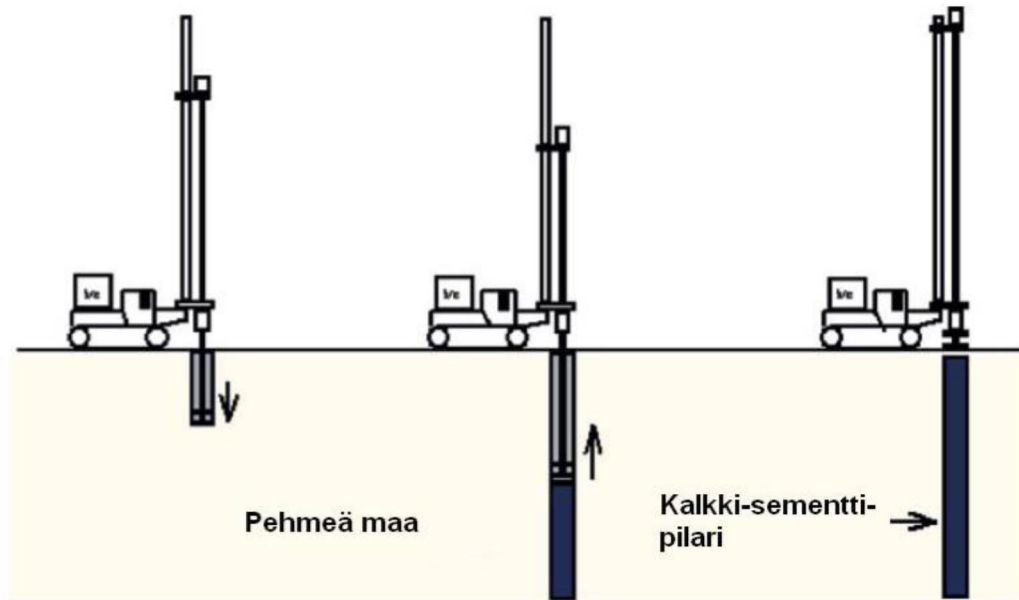
Kuva 10. Kuvassa massastabilointilaitteisto, johon kuuluu kaivinkone ja sekoitinlaite. (Hautalahti ym. 2007: 44.)

4.1.2 Pilaristabilointi

Pilaristabilointia käytetään, kun kyseessä on pehmeä maakerros. Maaperä on yleensä runsaasti kokoonpuristuvaa savea. Yleisin syy pilaristabilointiin on pohjanvahvistaminen, mutta menetelmään käytetään myös liikenteen ja rakennusten välillä seinämänä, joka katkaisee tärinästä aiheutuvat ääniaallot ja värähtelyn.

Pilaristabilointi tapahtuu tela-alustaisella kaivinkoneella, johon on kiinnitetty pystysuora masto. Maston kärjessä on kiinni sekoitinkärki, joka toimii eräänlaisena porakärkenä kairalle. Sekoitinkärjen pyöriessä mastoa painetaan samanaikaisesti maahan ja upotetaan suunniteltuun alapään tasoon. Sekoitinkärjen pyörimissuunta vaihdetaan ja sideainetta aletaan syöttää paineilmalla samanaikaisesti kun mastoa nostetaan ylöspäin. Sideaineena käytetään erilaisia seoksia, joista yleisin on kalkkisementtiseos. Suomessa ja Pohjoismaissa käytetään pääasiassa juurikin tätä kuivamenetelmää, mutta muualla maailmassa käytetään myös märkämenetelmää, jossa sementin joukkoon sekoitetaan vettä ennen maahan sekoittamista. Sekoitinkärjessä olevat siivekkeet jakavat si-

deaineen tasaisesti sekoitusjärjen siivekkeiden levyiselle alueelle. Muodostuneiden pilareiden halkaisijat vaihtelevat 0,5 ja 0,8 metrin välillä ja maksimipituus on noin 22 metriä. (Aalto 1998: 20.)



Kuva 11. Kalkki-sementtipilarin työvaiheet. (Bahrekazemi 2001: 20.)

Pilaristabilointi värinäsuojausmenetelmänä on varsin yleinen keino. Se on tilantarpeen takia usein haastava toteuttaa, sillä stabilointikalustoon kuuluu iso kaivinkone sekä yleensä vähintään kaksi isoa säiliöperävaunua. VTT:n tutkimuksien mukaan pilaristabiloinnin vaikutus vaakasuuntaisen värähtelyn vaimentamiseen on todettu pieneksi. Koviin värinäeristysratkaisujen, kuten pilaristabilointi ja teräsponttiseinä, sijaan VTT suosittelee pehmeiden värinäeristeiden lisätutkintaa korvaamaan kovat värinäeristysratkaisut. (Kurkela 2011: 30.)

4.2 Ponttiseinä

Ponttiseinä on yhtenäinen maahan upotettu rakenne, joka koostuu pystysuorista teräsponteista. Teräspontit ovat kiinni toisissaan erilaisten nurkkaprofiilien avulla ja muodostunut ponttiseinä on jopa vesitiivis. Ennen vanhaan teräspontit hitsattiin yhteen,

mutta nykyiset kehittyneet nurkkaprofiilit mahdollistavat paljon nopeamman tavan rakentaa ponttiseinä. Teräspontit upotetaan maahan joko täryttämällä, lyömällä tai painamalla ja jokaiseen menetelmään on olemassa erilainen kalusto. (Rantamäki & Tamminen 1979: 115- 116.) Ponttiseinämän yleisin käyttötarkoitus on toimia tukimuurina rakentamisen aikana, mutta sitä käytetään myös tärinän vaimentamiseen. Ponttiseinäjä junaradan ja rakennuksen välissä heijastaa osan tärinästä takaisin tärinän herälähteen suuntaan. Se myös vaimentaa maan pystyvärähtelyä muuttamalla maaperän värähtelyn ponttiseinämän pystysuuntaiseksi jännitykseksi. Ponttiseinä voidaan myös lyödä vinoon tärinävaimennuksen lisäämiseksi. Tämä asennustapa on patentoitu Des-tialle vuonna 2006.

Ponttiseinämän suurin etu on sen helppo ja nopea toteutustapa. Se myös sopii erityisen hyvin ahtailla tonteilla, sillä tilantarve asennukselle ja rakenteelle on pieni. Stabi-lointiin verrattuna ponttiseinämän teko onnistuu paljon ahtaammille rakennuspaikoille. Yksi positiivinen asia on myös se, että ponttiseinä lyödään maahan usein tukimuuriksi maasortumia vastaan ja sen jättäminen maahan maksaa ainoastaan teräsponttien materiaalikustannukset. Teräsponttien hinnat vaihtelevat paljon teräksen markkinahintojen mukaan, mutta yleisesti ponttiseinämän maahan jättämisestä koituu suuri kustannus. (Törnqvist 2004: 3-4.) Samoin kuin pilaristabiloinnilla, VTT:n tutkimuksien mukaan teräsponttiseinän vaikutus vaakasuuntaisen värähtelyn vähenemiseen on todettu pieneksi.

4.3 Sylomer- ja sylodyn-tärinäeristeet

Sylomer ja sylodyn-eristeet ovat nimetty niiden tuotemerkin mukaan, jonka omistaa Christian Berner Oy. Kuitenkin näitä nimityksiä käytetään yleisesti työmaalla, kun puhutaan tärinäsuojuseristeistä. Sylomer ja sylodyn-eristeet ovat elastisia polyuretaanista valmistettuja mattoja, joita käytetään rajoittamaan tärinän etenemistä. Niitä voidaan käyttää usealla eri tavalla ja eri tarkoituksiin löytyykin kymmenen erilaista laatua, joilla on erilaiset ominaisuudet. Eristeen tyyppi valitaan käyttökohteen, kuormitettavuuden ja ominaispainon mukaan ja jokaisella laadulla on ominaisväri, josta sen tunnistaa.

Rautateiden läheisyydessä olevissa rakennuksissa sitä käytetään monella eri tavalla. Rakennuksen anturoiden alle voidaan perustusten valuvaiheessa asentaa eristematot, jolloin koko rakennus on irrotettu maasta. Tärinäeristematot voidaan myös asentaa

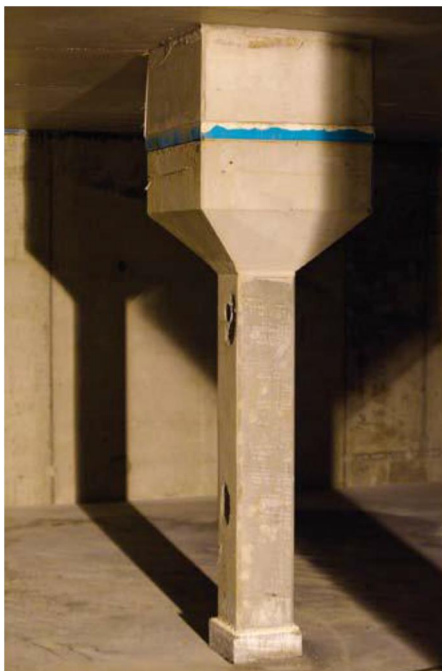
maata vasten valettavan laatan alle, jolloin koko laatta ns. kelluu. Tällä tavoin saadaan maaperästä rakennukseen siirtyvä tärinä estettyä lähes kokonaan.



Kuvat 12 ja 13. Vasemmassa kuvassa anturalaatikoiden pohjalle on asennettu tärinäeristematto. Oikeassa kuvassa maata vasten valettavan laatan alle asennetaan eristemattoja. Molemmilla tavoilla koko rakennus saadaan irti maasta. (RT 38170.)

Koko rakennuksen alle asennettu eristysmatto on helppo toteuttaa, mutta se tulee kalliiksi suuren materiaalimenekin takia. Sylomer- ja sylodyn-eristeet kestävät todella hyvin suuria kuormitushuippuja ja ne palautuvat entiselleen säilyttäen ominaisuutensa. Rakennukset suunnitellaan nykypäivänä kestämään sata vuotta ja sylomer- ja sylodyn-eristeet kestävät koko rakennuksen eliniän, sillä materiaalin elinkaari on yli sata vuotta.

Sylomer- ja sylodyn-eristeillä voidaan myös eristää yksittäinen rakennusosa kuten esimerkiksi pilari tai palkki. Tämä tapa on kustannuksien kannalta hyvä, sillä hyvä tärinäeristys saadaan aikaiseksi vähällä materiaalimenekillä. Tätä toteutustapaa käytetään usein silloin, kun on kyseessä pilari-palkkirakenteinen useampikerroksinen rakennus. Yksi pilari tai palkki kannattelee suurta pinta-alaa ja tällöin pienen eristemattopalan vaikutus ulottuu isolle alalle.



Kuva 14. Helsingin Musiikkitalon pääsalia kannatteleva pilari, jonka välissä on sylodyn-eristematto. (RT 38170.)

Sylomer-eristettä käytetään myös junaradan puoleisella sivulla vaimentamaan junasta aiheutuvaa tärinää. Eristematto asennetaan rakennuksen junaradan puoleisen sokkelin reunaan kiinni. Asennus tapahtuu maanpinnasta alaspäin syvyyteen, jonka akustinen suunnittelija on määrittänyt. Tämä toteutustapa voidaan suhteellisen helposti toteuttaa jo olemassa olevaan rakennukseen, jolloin sokkeli kaivetaan esiin, laitetaan eristematto kiinni ja tehdään täyttö. Materiaalimenekki riippuu täysin rakennuksen koosta ja siitä miten päin rakennus on suhteessa junarataan. Suorakaiteen muotoisen pitkän rakennuksen tärinäeristys, jossa pitkä sivu on junaradan puolella, voi tulla todella kalliiksi. Kuitenkin asennus on helppoa ja nopeaa ja sen vuoksi työkustannukset ovat suhteellisen pienet. (RT 38170.)

4.4 Kelluva lattia

Kelluvalla lattialla tarkoitetaan lattiarakennetta, jossa koko pintalattia on irti alusrakenteesta, kantavista pystyrakenteista ja talotekniikan läpivienneistä. Kelluva lattiarakenne voidaan toteuttaa lähes kaikille erilaisille materiaalityypeille, kuten esimerkiksi betonille ja rakennuslevyille. Lattiasta tehdään kelluva sijoittamalla sen alle eristekerros, joka mitoitetaan kohteen mukaan. Eristekerros voi olla esimerkiksi ääneneristelevy, villa tai

kumimatto. Eristekerroksen tehtävänä on vaimentaa eri tilojen välisiä äänitekniisiä ongelmia. Kelluvia lattioita käytetään edellisen lisäksi myös rakennuksissa, jotka altistuvat tärinälle. Tällä ratkaisulla rakennuksen rungon johtamat värähtelyt yksittäiseen tilaan tai koko kerrokseen saadaan vaimenemaan. Ratkaisua käytetään erityisesti tiloissa, joissa on herkkiä laitteita tai erityinen akustiikka on tarpeen. (RT 83- 10902.)

Kelluvan lattiarakenteen toteutuksen haastavuus riippuu tilan pinta-alasta ja taloteknisten läpivientien määrästä. Työtekniinen toteutus on tehtävä erityisen huolellisesti, sillä betonisen kelluvan lattian alapuoliseen eristekerrokseen ei saa valun aikana päästää betonia ja rakenteen on pysyttävä irti muista rakenteista. Kelluvissa lattioissa on myös havaittu ongelmia kaareutumisen suhteen. Kaareutuminen aiheuttaa lattian reuna-alueiden kohoamista ylöspäin. Tämä johtaa lattioiden reunojen ylimääräiseen hionta- ja oikaisutarpeeseen. Lattia myös halkeilee helposti tämän kaareutumisen vuoksi. Kaareutumisen aiheuttaa betonilaatan toispuoleinen kuivuminen. Yläpinnasta vesi haihtuu nopeasti kuivattaen yläpinnan alapuolta nopeammin. Tällöin yläpinta myös kutistuu nopeammin kuin alapinta ja betonilaatta kaareutuu. (BLY 9 2002: 21.) Kelluvan lattian tekeminen itsessään on suhteellisen edullinen ratkaisu värähtelyn vaimennuskeinona, mutta mahdolliset jälkeinpäin syntyvät ongelmat ja niiden korjaaminen voivat vaikeuttaa seuraavien työvaiheiden tekemistä, vaikuttaen aikataulun venymiseen ja kustannusten nousuun.

4.5 Massiiviset rakenteet

Massiiviset rakenteet luovat rakennukselle hyvän vaimennuksen värähtelyä vastaan. Massiivisilla rakenteilla tarkoitetaan normaaliin nähden suurempia paalumääriä, suurempia anturoita ja tilannetta, jossa osa anturoista on yhdistetty keskenään perustusten jäykistämiseksi. Tällaisella jäykällä perustamistavalla täytyy erityisesti ottaa huomioon perustusten ominaistajuus. Ominaisuus riippuu paalun mitoista, materiaalista ja sen kuormituksesta valmiissa käyttötilanteessa. Perustusten ominaistajuus mitoitetaan siten, ettei se ole samalla taajuusalueella yhdessä maaperästä mitatun voimakaimman junaherätteen taajuuden kanssa. Tämä estää resonanssi-ilmiön syntymisen. Tätä tärinäsuojausmenetelmää käyttäessä täytyy olla erityisen hyvät suunnitelmat, sillä jos rakennuksen perustukset ovat samalla ominaistajuudella yhdessä junaherätteen taajuuden kanssa, tärinä vahvistuu perustuksista ylöspäin rakennukseen mentäessä.

Massiiviset rakenteet ovat työtekniisesti helppo toteuttaa, sillä tässä menetelmässä tehdään tuttuja asioita suuremmassa mittakaavassa. Paalujen lisääminen ja anturoiden kasvattaminen lisäävät muottityötä ja materiaalimenekkiä. Kustannukset riippuvat suurelta osin rakennuksen pohjan pinta-alasta ja rakennuksen muodosta. (Peltonen 2012: 6.)

4.6 Kaivanto

Kaivanto on yksi, joskin harvinainen tärinäsuojausmenetelmä. Maailmalla tätä menetelmää on käytetty ja tutkittu enemmänkin, mutta Suomessa sen käyttö on vähäistä. Kaivantoa käytetään kahdella eri tapaa ja ne ovat avoin kaivanto sekä täytetty kaivanto. Avoin kaivanto tarkoittaa junaradan ja rakennuksen väliin kaivettavaa syvää kanaalia, jolla pyritään katkaisemaan tärinäaallon eteneminen väliaineella, jolla ei ole leikkaus- tai puristuslujuutta, eli ilmalla. Avoimen kaivannon menetelmä perustuu siihen, ettei tärinä voi edetä kaivannon seinämästä toiseen. Tässä tapauksessa kaivannon leveydellä ei ole väliä. Junaliikenne aiheuttaa matalataajuista värähtelyä ja tämän vuoksi kaivanto pitääkin olla jopa 25 metriä syvä, että vaimennus on riittävä. Tämä on suurin syy, miksei tätä menetelmää käytetä enempää, sillä näin syvän kaivannon stabiliteetti tulee ongelmaksi. Syvä kaivanto asuinalueen lähetyillä ei ole turvallinen.

Stabiliteettiongelmat saadaan ratkaistua muuttamalla avoin kaivanto täytetyksi kaivannoksi. Se tapahtuu täyttämällä avoin kaivanto täyteaineella, jonka leikkauslujuus on paljon suurempi kuin ympäröivällä maa-aineksella. VTT on tutkinut täytetyssä kaivannossa käytettäväksi kumirouhetäytteistä pehmeää tärinäeristettä. Tutkimuksien mukaan pehmeä tärinäeriste junaradan ja rakennuksen välissä pienentää merkittävästi pystysuuntaisen värähtelyn lisäksi myös vaakavärähtelyä. VTT:n tutkimuksien perusteella kumirouhe täyteenä vähentää värähtelyä poikittais- ja pystysuunnassa keskimäärin noin 35 - 40 prosenttia. Tuloksista ei kuitenkaan voida päätellä, miten tämä ratkaisu toimii muissa maaperäolosuhteissa ja sen vuoksi lisätutkimuksia tarvitaan. (Kurkela 2011: 30.)

Kaivanto tärinäsuojausmenetelmänä on varsin kallis ratkaisu, sillä sen tekemiseen tarvitaan isoja maanrakennuskoneita ja maa-aineksen poisvienti ja täyttömateriaalin hankintakustannukset ovat suuria. Myös työtekniisesti ja työturvallisuuden kannalta syvän kaivannon tekeminen on haastavaa. (Verkkodokumentti 3.)

4.7 Teräsrousiperustus

Junaradasta rakennukseen siirtyvää tärinää voidaan vaimentaa perustamalla rakennus teräsrousien varaan. Rakennuksen anturoiden alle sijoitetaan suunnitelmien mukaan esijännitetyjä teräsrousia, jotka eristävät koko rakennuksen irti ympäröivästä maaperästä.



Kuva 15. Gerb-yhtiön teräsrousiratkaisu perustusten alle. (Verkkodokumentti 1.)

Teräsrousi-ratkaisu on erityisen hyvä silloin, kun maaperässä esiintyvä tärinäheräte sisältää myös pieniä taajuuksia. Teräsrousset vaimentavat runkoon kytkeytyvää pystysuuntaista värähtelyä, mutta ongelmaksi voi koitua rakennuksen sivusuuntainen tuenta. Mikäli rakennus ei ole sivusuunnassa tuettu, mahdollisuus huojunnan riskiin ylemmissä kerroksissa kasvaa selvästi.

Vaikka esikiristetyt ousset puristuvat kokoon ainoastaan muutamia millijä, on suunnitelmien ja työteknisen toteutuksen oltava erittäin tarkkoja. Teräsrousset tulevat suhteellisen kalliiksi varsinkin silloin, kun rakennuksen perustuspinta-ala on suuri, sillä ousien menekki on suuri. Myös rakennuksen runkoon joudutaan tekemään muutoksia ousiratkaisun takia ja perinteiseen runkoon verrattuna kustannukset saattavat nousta suuriksi. (Peltonen 2012: 6.)



Kuva 16. Jousiperusteinen kerrostalo Kauniaisissa. (Verkkodokumentti 2.)

5 Keravan toimitilarakennuksen värinäsuojausmenetelmien vertailu



Kuva 17. Kuvassa arkkitehdin näkemys tulevasta rakennuksesta. Rakennus sijaitsee Keravan keskustassa rautatieaseman lähetyvillä.

5.1 Kohteen esittely ja lähtötiedot

Kohde on Keravalla osoitteessa Kultasepänkatu 7 sijaitseva parhaillaan rakenteilla oleva toimitilarakennus. Rakennuksen kerrosala on 6712 m² ja tilavuus 28700 m³. Ra-

kennus on neljä-viisikerroksinen pilari-palkkirakenteinen betonielementtitalo. Anturat ja osa sokkeleista ja maanpaineeseinistä valetaan paikanpäällä. Rakennus perustetaan paaluanturoille. Rakennus koostuu toimistoista, nuorisotiloista ja hammaslääkäristä. Hankkeen arvioitu valmistumisaika on syyskuu 2014.

Rakennus sijaitsee junaradan välittömässä läheisyydessä ja se yhdistyy junaradan alikulkevaan olemassa olevaan tunneliin. Liikennetiheys rataosuudella on erittäin suuri, koska päärataa pitkin liikennöi kaukojunat yhdessä lähiliikenteen kanssa. Raskaat tavarajunat liikennöivät pääosin yöaikaan eikä niiden aiheuttamaa tärinää tarvitse huomioida hankkeen tärinäsuojauksen mitoituksessa.

5.2 Tärinäsuojaustarpeen mitoitus ja suunnittelu

Tärinäsuojauksen mitoituksen ja suunnittelun kohteessa tekee akustiikkayritys Akukon. Kohteessa on suoritettu tärinämittauksia aiemmin myös kahden muun yrityksen toimesta. Näissä mittauksissa mitattiin pelkästään vapaasta maaperästä värähtelyarvoja eikä niistä voida riittävän tarkasti arvioida tulevaan rakennusrunkoon kytkeytyvää värähtelyä. Akukonin toimesta tehtiin lisämittauksia, joissa mittauspisteitä sijoitettiin maaperän lisäksi tontin vieressä sijaitsevaan parkki- ja kerrostalon rakennusrunkoon. Tämä rakennus toimi verrokkikohteena tulevalle rakennukselle sen samankaltaisen paaluperustamistavan, läheisen sijainnin ja maaperäolosuhteiden takia. Mittaustuloksissa mitattu tärinä jäi alle uusien asuntojen 0,3 mm/s suositusarvon kaikissa mittauspisteissä. Tulevan rakennuksen jäykästä perustamistavasta, muodosta ja korkeudesta johtuen vaakasuuntainen tärinä saattaa kuitenkin vahvistua rakennuksen ylemmissä kerroksissa. Tämän vuoksi rakennukseen on suunniteltu useita erilaisia menetelmiä tärinän ehkäisemiseksi.

5.3 Käytetyt tärinäsuojausmenetelmät ja niiden kustannukset

Kohteessa on käytetty yhteensä seitsemää erilaista tärinäsuojausmenetelmää, joiden tarkoitus on vähentää rakennuksen kerroksiin kantautuvaa runkoääntä ja vähentämään rakennuksessa koettavaa tärinää. Tässä luvussa tuodaan esille menetelmien työtekniikan puolen sekä niistä aiheutuneet kustannukset. Kohteen tärinäsuojauksenkustannukset koostuvat kolmesta eri kustannuslajista. Ensimmäinen kustannuslaji pitää sisällään

rakennuksen värinäsuojaussuunnittelusta, mittauksista ja tarkastuksista kertyneet kustannukset. Työmaa on edelleen käynnissä ja mittauksia tullaan suorittamaan edelleen eikä lopullisia kustannuksia voi vielä tarkasti tietää. Tähän mennessä värinäsuojaussuunnitteluun, mittauksiin ja tarkastuksiin on käytetty rahaa noin 52000 euroa (alv 0%). Toinen ja kolmas kustannuslaji pitää sisällään värinäsuojausmenetelmien materiaalikustannukset sekä työkustannukset. Kustannukset perustuvat tilausvahvistuksiin ja aliurakkasopimuksiin.

5.3.1 Vinopaalutus

Rakennuksen vaakasuuntainen jäykistäminen toteutettiin vinopaalutuksella. Vaakasuuntainen tuenta poistaa huojunta- ja värinäätunteen ylemmissä kerroksissa. Tässä kohteessa perustusten alle sijoitettavia teräsjoista ei valittu juuri sen takia, että sivusuuntainen tuenta vähenisi huomattavasti ja vaakasuuntainen huojunta kasvaisi. Viistopaalutus on helppo toteuttaa muun paalutustyön yhteydessä ja ainut asennuksen aikana haastava tekijä oli se, ettei paalutus saa kytkeytyä radan tai alikulkutunnelin tukirakenteisiin. Tämä vaati tarkkaa tietoa olemassa olevan tunnelin tukirakenteiden sijainnista. Myös paalujen kaltevuuden on oltava mahdollisimman suuri. Vinopaalutuksen kustannukset eivät juurikaan poikkea normaalista, joten niitä ei ole tarpeen tuoda esille.

5.3.2 Massiiviset perustukset

Kohteeseen valittiin anturoiden alle sijoitettavien eristeiden sijaan mahdollisimman tukeva ja jäykkä paaluperustus. Radanpuoleisiin paaluanturoihin lisättiin paaluja runsaasti ja anturoita yhdistettiin keskenään perustusten jäykistämiseksi. Kohteessa on myös kolme suurempaa kuiluanturaa, joista isoimpaan kului betonia lähes 200 kuutiota.

Työteknisesti suuret perustukset eivät olleet hankala toteuttaa, mutta niihin kului enemmän aikaa verrattuna normaaliin. Massiivisten perustusten aiheuttamat kustannukset ovat kohtalaisen pienet, sillä vaikka betoni- ja paalumenekit olivat isot, olivat niiden materiaalikustannukset alhaiset. Suurien anturoiden aiheuttama lisämuottityö ei aiheuttanut merkittäviä kustannuksia.

5.3.3 Sylomer- tärinäeriste

Rakennuksen radanpuoleisiin perustuksiin asennettiin 25 millimetrin paksuista Sylomer SR 18 -eristysmattoa maan pinnasta 2 metrin syvyyteen asti. Tunnelin viereiset maanpainesoinat olivat sokkeliä korkeammat ja niihin asennettiin 2 metrin syvyydestä anturaan asti Sylomer SR 42 -eristemattoa, jolla on paremmat vaimennusominaisuudet kuin Sylomer SR 18 -eristematolla. Eristysmaton tarkoitus on vaimentaa maaperän pinta-kerrosta pitkin rakennusrunkoon kytkeytyvää tärinäherätettä.

Matot kiinnitettiin yläreunasta lyöntiniiteillä sokkeliin kiinni ja sen jälkeen reuna täytettiin sepelillä. Asennuksesta nopeaa ja vaivatonta teki tasainen ja puhdas asennusalue. Negatiivinen asia eristysmatoissa oli niiden kallis neliöhinta ja se, että niiden toimitusta ulkomailta jouduttiin odottamaan suhteellisen kauan. Korvaavana tuotteena olisi voitu käyttää EPS-kerrosta, mutta se ei olisi ollut mielekästä suuren paksuuden vuoksi.

Materiaalikustannukset jakautuivat siten, että Sylomer SR18 -eristysmaton menekki oli 112 neliötä ja sen hinnaksi tuli 12757 euroa (alv 0%). Sylomer SR 42 -eristysmaton menekki oli 25 neliötä ja se tuli maksamaan 4040 euroa (alv 0%). Työhön kului aikaa yhdeltä mieheltä noin kaksi päivää, joten työhön meni ainoastaan noin 400 euroa. Sylomer- eristeiden kokonaiskulut asennuksineen olivat siis 17200 euroa (alv 0%).

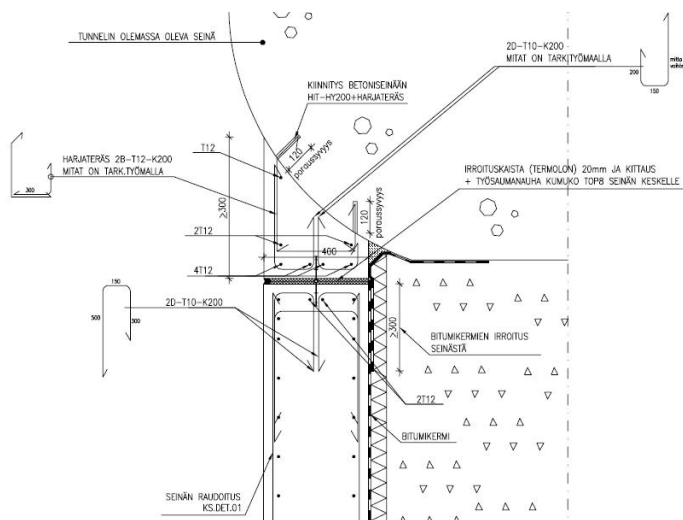


Kuvat 18 ja 19. Vasemmassa kuvassa sokkelileikkaus radanpuoleiselta sivulta. Oikean puoleisessa kuvassa on Sylomer SR 18 -matto asennettuna paikalleen.

5.3.4 Rakennesaumat

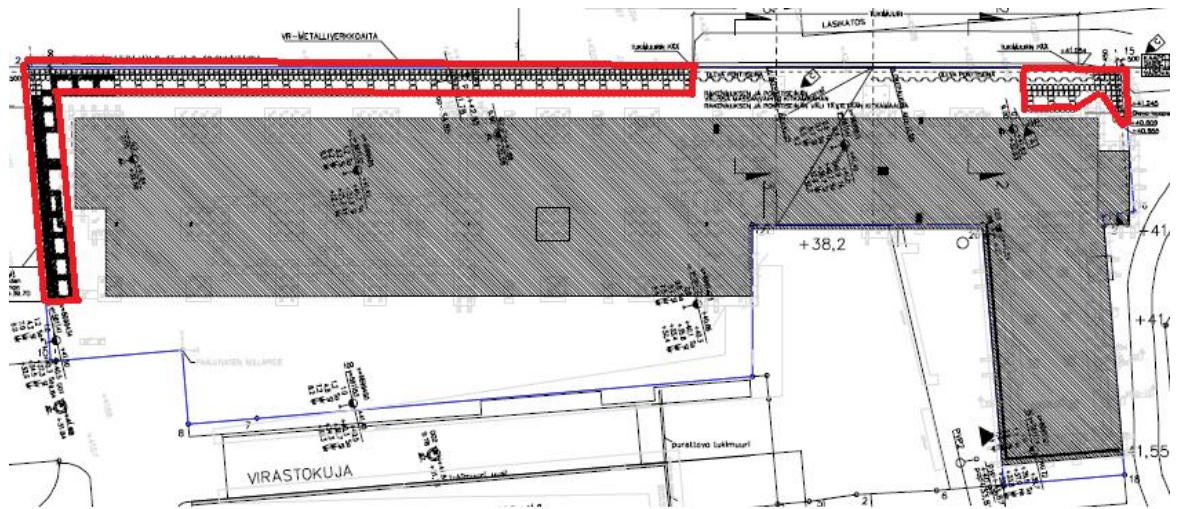
Olemassa olevan tunnelin ja uuden rakennuksen paikallavaluseinien väliin asennettiin liikuntasaumanauhut ja irrotuskaistat. Mikäli vanhaan tunneliin kytkeytyy radasta tärinäherätettä, sen siirtyminen uuteen rakennukseen estetään tällä saumaratkaisulla. Liikuntasauman tekeminen on helppo, edullinen ja nopea ratkaisu. Paikallavaluseinä toteutettiin lautamuotilla ja se tehtiin kahdessa vaiheessa. Ensin tehtiin tunneliin liittyvä lyhyt osa, jolloin puolet kumisesta saumanauhasta asennettiin valun sisään. Muotin purkamisen jälkeen saumaan asennettiin 20 mm irrotuskaista ja sitä vasten valettiin loppuosa seinästä.

Liikuntasauman teosta ja materiaaleista aiheutuneet kustannukset ovat niin pieniä, ettei niitä ole tarpeen tuoda esille. Tämä menetelmä on helppo toteuttaa, mutta työ on tehtävä erityisen huolellisesti. Väärin tehtynä tärinän eteneminen vanhasta rakenteesta uuteen ei katkea ja jälkeensä jättävät toimenpiteet tulevat todella kalliiksi.



Kuva 20. Uuden rakennuksen liitos olemassa olevaan tunneliin. Rakenteet erotetaan toisistaan irrotuskaistan ja saumanauhan avulla.

5.3.5 Pilaristabilointi



Kuva 21. Kuvassa stabilointisuunnitelma, jossa stabiloitu alue on rajattu punaisella. Alueiden välissä on vanha junaradan alittava tunneli, joka yhdistyy uuteen rakennukseen.

Rakennuksen ja junaradan väli pilaristabiloitiin. Tällä menetelmällä vaimennetaan radasta rakennukseen kytkeytyvää värinää. Stabiloinnissa käytettiin syvästabilointipilareita, joiden halkaisija oli 600 mm ja niiden etäisyys keskeltä keskelle 500 mm. Pilarit aseteltiin siten, että ne leikkaavat toisiaan. Pilareiden sideaineena käytettiin kalkkia ja sementtiä. Sideainemäärä 600 mm pilareille oli 32 kg/m ja suhde noin 30% kalkkia ja 70% sementtiä. Kohteessa stabilointityö toteutettiin aliurakkana ja urakka kesti noin 2 viikkoa. Suurien kalkki- ja sementtisäiliöiden ja stabilointityötä tekevän ison kaivinkoneen takia kulku rakennuksen radan puolelta oli suljettuna lähes koko urakan ajan. Kaluston koko vaikeutti myös liikkumista työmaa-alueella, sillä ne olivat työmaakoppien ja rakennuksen välissä. Stabilointityön kokonaiskustannukset olivat 29400 euroa (alv 0%).



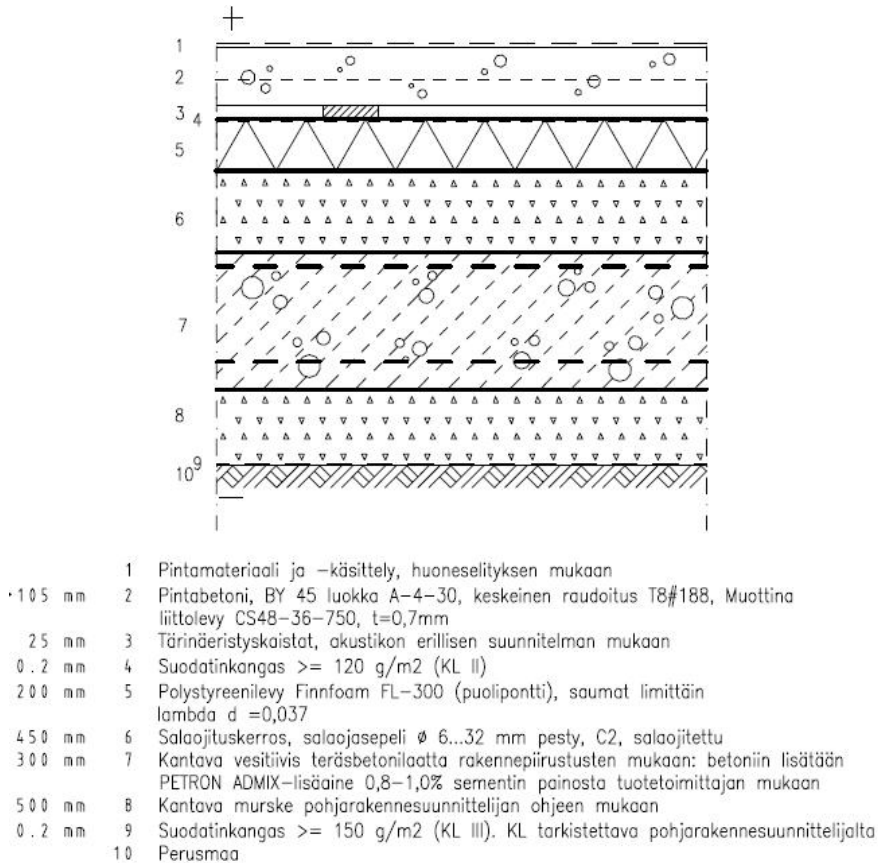
Kuvat 22 ja 23. Vasemmassa kuvassa stabilointityön kalustoa, johon kuuluu kalkki- ja sementtisäiliöt. Oikean puoleisessa kuvassa kaivinkone syöttää sideainetta kairan avulla maahan.

5.3.6 Kelluvat lattiat

Kohteessa pohjakerroksen nuorisotilan ja ensimmäisen kerroksen toimistotilojen lattiat tehtiin kelluvina lattioina. Sylomer-kaistojen päälle asennettiin liittolevyt, jotka valettiin betonilla. Sylomer-eristekaistat ovat valmiiksi isommasta Sylomer-matosta leikattuja 100 mm leveitä, 1500 mm pitkiä ja 25 paksuja soiroja. Tällä menetelmällä lattia saadaan irti alustasta ja huoneeseen kytkeytyvä värähtely ja runkomelu vähenee.

Lattiarakenne oli haastava työteknisesti, sillä liittolaattalevyt olivat yli kymmenen metriä pitkiä ja betonin pääsy levyn alle piti estää täysin. Kelluvat betonilattiat kaareutuvat kuivuessaan helposti ja sen vuoksi myös lattian jälkihoito on erityisen tarkkaa. Työtekniikan haastavuuden lisäksi kelluvan lattian tekeminen maksaa huomattavasti enemmän verrattuna normaaliin, sillä työmiesten tunteja kuluu enemmän ja sylomer-kaistat ja liittolaattalevyt ovat varsin hintavia. Liittolevyjen suurin etu on se, että ne toimivat täysin raudoituksena, eikä näin ollen erillistä raudoitusta tarvita. Kustannukset jakautuvat siten, että Sylomer SR 55 -eristekaistan menekki oli 890 jm ja sen hinnaksi tuli 17400 euroa (alv 0%). Liittolevyjen materiaalimenekki oli 640 neliötä ja hinnaksi tuli 7300 euroa (alv 0%). Lisätyötuntien arviointi verrattuna normaalin betonilattian tekoon on vaikea arvioida, sillä rakennusmiehen työtuntien lisäksi myös työnjohtajalla kuluu paljon enemmän aikaa. Karkeasti voidaan arvioida, että yhdellä miehellä menee viisi päivää enemmän aikaa verrattuna normaaliin. Tunnit koostuvat tavaran siirtämisistä, eristekaistojen ja liittolevyjen asennuksesta sekä kaareutuneen lattian hionnasta. Työ-

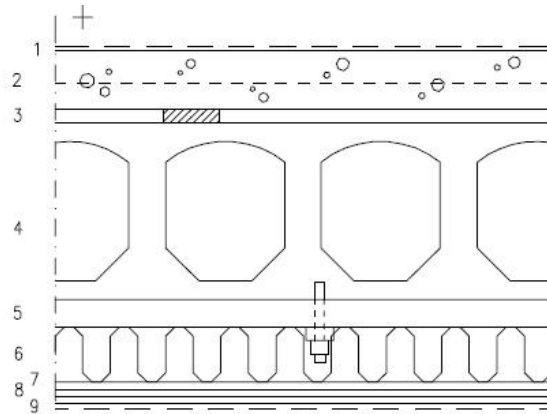
kustannukset ovat näin ollen karkeasti arvioituna noin 1000 euroa. Kelluvat lattiat tulivat kokonaisuudessaan maksamaan 25700 euroa (alv 0%).



Kuva 24. Kuvassa nuorisotilan kelluvan lattian rakennepiirustus.

5.3.7 Huone-huoneessa-menetelmä

Pohjakerroksen nuorisotila toteutettiin huone-huoneessa-ratkaisulla. Seinä- ja kattopinnoille rakennettiin rakennusrungosta joustavasti ripustettu äänieristysrakenne. Alakattoon ripustettiin kaksi tiivistä kipsilevykerrosta. Kipsilevyjen yläpuolelle asennettiin 100 mm mineraalivillaa. Seinärakenteet tehtiin samalla tekniikalla pystysuunnassa. Tällä menetelmällä ehkäistään junaradan aiheuttaman runkomelun ja värähtelyn kulkeutuminen tilaan. Menetelmä oli helppo toteuttaa ja materiaalien hinnat ovat edullisia. Kustannukset verrattuna normaaliin seinärakenteeseen ovat niin pienet, että niitä ei ole tarpeen tuoda esille.



- | | | |
|-----------|---|---|
| | 1 | Pintamateriaali ja -käsittely, huoneselityksen mukaan |
| • 105 mm | 2 | Pintabetoni, BY 45 luokka A-4-30, keskeinen rauditus T8#188, Muottina poimulevy CS48-36-750, t=0,7mm |
| 25 mm | 3 | Täriinieristyskaistat, akustikon erillisen suunnitelman mukaan |
| 320 mm | 4 | Ontelolaatta, rakennepiirustusten mukaan |
| 50 mm | 5 | Ilmaväli |
| 100 mm | 6 | AMC Akustik+Sylomer 30 Super T60-täriinieristimet k600, Gypros GK1-pääkammatin k600/mineraalivilla 100 mm |
| 12 mm | 7 | Seka vaneri |
| 2 x 13 mm | 8 | Kipsilevyt, ulompi EK laatu |
| | 9 | Pintakäsittely, huoneselityksen mukaan |

Kuva 25. Kuvassa nuorisotilan ja toimiston välinen välipohjarakenne, jossa näkyy nuorisotilan huone-huoneessa alas laskettu kattorakenne ja toimistojen kelluva lattiarakenne.

5.4 Täriinäsuojausmenetelmien kokonaiskustannukset

Täriinäsuojaukseen kuluneet kustannukset hankkeessa ovat yhteensä 124 300 euroa (alv 0%). Tähän summaan on laskettu kaikista täriinäsuojausmenetelmistä aiheutuneet materiaali- ja työkustannukset. Kustannuksista suurin osa on materiaalikustannuksia, sillä työkustannukset jäivät todella pieniksi.

Työmaan ollessa vielä käynnissä täriinäsuojausten kokonaiskulut vielä kasvavat hiukan johtuen tulevista mittauksista ja tarkastuksista. Kuitenkin tähän mennessä käytetty summa antaa varsin hyvin tietoa siitä, kuinka paljon junaradan varteen rakentaminen maksaa verrattuna normaaliin. Rakennuksen täriinäsuojaukseen on kulunut kerosalaneliötä kohden rahaa $124\,300\text{ €} / 6712\text{ m}^2 = 18,5\text{ €/m}^2$. Koko hankkeen kokonaisarvoon verrattuna täriinäsuojaukseen kuluneet kustannukset ovat alle 1 prosentin luokkaa.

5.5 Yhteenveto tärinäsuojausmenetelmistä

Vinopaalutus

- Toteutetaan paalutuksen yhteydessä
- Tukee rakennusta vaakasuunnassa
- Paalutuskulma mitoitettava tarkasti.

Massiiviset perustukset

- Suuret anturat ja suuri paalumäärä muodostavat jäykän perustuksen, joka luo hyvän vaimennuksen tärinää vastaan
- Perustusten ominaistaajuus pitää mitoitaa tarkasti
- Yleinen ja tuttu ratkaisu, joka on työtekniisesti helppo toteuttaa.

Sylomer-tärinäeriste

- Asennettuna sokkelin kylkeen; vaimentaa junasta rakennukseen siirtyvää tärinää
- Asennettuna rakenteen alle; saadaan rakenne irti alustasta ja tärinän siirtymisen rakenteeseen estetään
- Ohuella kerrospaksuudella saadaan hyvä tulos
- Helppo asentaa
- Suomessa vähän tavarantoimittajia
- Ulkomailta tilatessa pitkät toimitusajat
- Kallis neliöhinta
- Kilpailijoita tuotteelle vähän.

Rakennesaumot

- Ehkäisee tärinän siirtymistä rakenteesta toiseen
- Asennetaan rakenteiden väliin
- Tuttu ratkaisu
- Helppo ja nopea työvaihe
- Työvaihe vaatii erityistä tarkkuutta

- Edullinen
- Materiaalit helposti saatavilla.

Stabilointi

- Stabilointiseinämä heijastaa osan tärinästä herätelähteen suuntaan
- Tehdään rakennuksen ja junaradan väliin
- Asennustyö vaatii paljon tilaa
- VTT:n tutkimusten mukaan vaikutus vaakasuuntaisen värähtelyn vaimentamiseen on todettu pieneksi
- Kustannukset määräytyvät rakennuksen junaradan puoleisen julkisivun pituuden mukaan.

Ponttiseinämä

- Ponttiseinämä heijastaa osan tärinästä herätelähteen suuntaan
- Tehdään rakennuksen ja junaradan väliin
- VTT:n tutkimusten mukaan vaikutus vaakasuuntaisen värähtelyn vaimentamiseen on todettu pieneksi
- Kustannukset määräytyvät teräksen markkinahinnan mukaan.

Kelluva lattia

- Kelluvan lattian alla on eristekerros, joka ehkäisee tärinän siirtymisen lattiarakenteeseen
- Työvaihe vaatii erityistä tarkkuutta
- Kelluva lattia kaareutuu helposti
- Kustannukset määräytyvät lattiapinta-alan mukaan.

Kaivanto

- Tehdään junaradan ja rakennuksen väliin katkaisemaan tärinääallon eteneminen
- Suomessa harvinainen ratkaisu
- Avoin kaivanto vaarallinen syvyyden vuoksi
- Täytetystä kaivannosta on saatu hyviä tutkimustuloksia, mutta menetelmä vaatii lisätarkastelua
- Vaatii suuria maanrakennustöitä ja tämän vuoksi kustannuksiltaan kallis ratkaisu.

Teräsrousiperustus

- Perustusten alle asennetut jouset irrottavat rakennuksen ympäröivästä maaperästä ja estävät rakennukseen siirtyvää tärinää
- Rakennuksen sivusuuntainen tuenta voi olla haastavaa
- Kallis ratkaisu etenkin kun rakennuksen pohjapinta-ala on suuri
- Tavarantoimittajia vähän
- Asennustyö on erittäin tarkkaa ja haastavaa.

Huone-huoneessa-menetelmä

- Rakennuksen rungon sisään joustavasti ripustettu eristysrakenne ehkäisee runkoäänen ja tärinän kulkeutumista tilaan
- Helppo ja nopea työvaihe
- Edullinen.

6 Johtopäätökset

Rakentaminen junaradan välittömään läheisyyteen vaatii erityistä huolellisuutta niin suunnitelmissa kuin toteutuksessa, etenkin detaljitasolla. Tämän hankkeen osalta junaradan läheisyys ei nostanut kustannuksia merkittävästi verrattuna koko hankkeen budjettiin. Tärinäsuojausmenetelmistä aiheutuneet kustannukset kertyivät suurimmalta osin materiaalikustannuksista. Kalleimpia tärinäsuojausratkaisuja olivat sellaiset, joissa käytetään erikoismateriaaleja niiden erikoisominaisuuksien takia. Näillä tuotteilla on Suomessa suhteellisen vähän toimittajia, mikä heikentää kilpailua ja saatavuutta. Tutkimustyön edetessä kävi ilmi, että kalliimmille tuotteille on olemassa korvaavia ja vaihtoehtoisia tuotteita, jotka olisivat kustannustehokkaampia. Vaihtoehtoisten tuotteiden ongelmaksi todettiin niiden tärinätekniisesti heikommat ominaisuudet. Erikoismateriaalien käyttöön verrattuna korvaavat materiaalit olisivat kasvattaneet liikaa rakenteiden paksuuksia.

Riittävä tärinäsuojautaso saavutetaan harvoin yhdellä tärinäsuojausmenetelmällä. Erilaisia tärinäsuojausmenetelmiä on olemassa paljon ja niiden toimintaperiaatteet ovat hyvin erilaiset. Tästä johtuen suunnittelulle asetetut vaatimukset rakennuksen tärinäsuojauksessa ovat hyvin korkeat, koska on tärkeää saada rakenteet toimiviksi pienintä yksityiskohtaa myöten. Suunnittelijoiden yhteistyö korostuu toimivaa tärinäsuoja-

usta suunniteltaessa verrattuna hankkeeseen ilman tärinäsuojauksia. Tällaisissa erikoishankkeissa suunniteltavaa on enemmän ja se on monipuolisempaa. Saadaksesen rakenneteknisesti toimivat suunnitteluratkaisut, esimerkiksi rakennesuunnittelijan mitoittaessa rakenteita, hän joutuu tekemään yhteistyötä akustisen suunnittelijan kanssa.

Työnjohtajien velvollisuuksiin kuuluu perehtyä erityisen tarkasti tärinäsuojausmenetelmiä käsitteleviin suunnitelmiin ja työselostuksiin. Osa ratkaisuista tulee työnjohtajille ja työntekijöille vastaan ensimmäistä kertaa ja silloin asioihin perehtymisen merkitys korostuu. Työnjohdon vastuulla on huolehtia siitä, että työntekijät tietävät, mitä heidän pitää tehdä ja mitkä työvaiheet ovat kriittisimpiä tärinäsuojauksen kannalta. Tällaisissa erikoishankkeissa yksinkertaisen työvaiheen epäonnistuminen saattaa pilata koko tärinäsuojauksen toiminnan. Työnjohdon tärkeimpiä tehtäviä on painottaa yksittäisen työsuorituksen merkitystä osana suurta kokonaisuutta niin, että työntekijäkin sen ymmärtää ja työvirheiltä voidaan välttyä.

Suunnittelijoiden haasteena on löytää eri tärinäsuojausmenetelmiä yhdistelemällä toimiva ja edullinen ratkaisumalli yksilöllisesti jokaiseen hankkeeseen. Tässä hankkeessa toteutetut tärinäsuojausmenetelmät olivat kustannustehokkaita ja työtekniisesti yksinkertaisia toteuttaa. Tässä vaiheessa voidaan sanoa, että kohteen tärinäsuojauksuunnittelu ja työtekniinen toteutus on onnistunut.

7 Pohdinta jatkoa ajatellen

Tätä tutkimusta tehdessäni olen useaan otteeseen tullut siihen lopputulokseen, että lähtökohtaisesti paras ratkaisu ehkäistä junaradan aiheuttamaa tärinää on eristää itse junarata ja vähentää junaradan epätasaisuuksia. Tällä tavoin saadaan itse herätelähteestä leviävät värähtelyt minimoitua. Tämä tilanne on ideaali, kun ollaan rakentamassa uutta junarataosuutta, sillä vanhan olemassa olevan radan alle on erittäin hankala lisätä jousia yms. tärinäeristimiä. Kuitenkin on huomioitavaa, että uutta rataa rakennettaessa edes välttämättä kaavoittamalla ei ole otettu kantaa junarataa ympäröivien alueiden kehittymiseen. Tästä johtuen ollaan usein siinä tilanteessa, että junaradan aiheuttamat tärinät ja värähtelyt joudutaan huomioimaan ratojen läheisyyteen rakennettavissa rakennuksissa tapauskohtaisesti.

Tärinäsuojausmenetelmät radan ja rakennuksen väliin sekä rakennukseen tehtynä ovat hyviä ratkaisuja vähentämään rakennuksessa tunnettavaa tärinää. Tällä hetkellä uuden rakennettavan rakennuksen tärinäsuojauksen tarpeesta voidaan vain tehdä arvioita. Arviointi perustuu kokemukseen vastaavanlaisista samankaltaisilla maaperillä olevista rakennuksista ja mittaustuloksista alueella. Mittauksia ja tutkimuksia olisi syytä painottaa rakennuksiin, joissa käytetään samanaikaisesti useaa erilaista tärinäsuojausmenetelmää. Näin saataisiin parempaa tietoa useammasta erilaisesta tärinäsuojausratkaisusta ja vaihtoehdot toteuttaa rakennuksen tärinäsuojaus olisi enemmän.

Uusia tärinäsuojausmenetelmiä tulee markkinoille jatkuvasti lisää, eikä riittävää tutkimustietoa kaikista menetelmistä välttämättä ole. Uusien jousi- ja materiaaliratkaisujen toimivuus Suomen ilmasto-oloissa pitäisi tutkia perusteellisemmin, jotta niiden käyttö tärinäsuojauksessa olisi perusteltua.

Useat suunnittelutoimistot tekevät rakennusten tärinäsuojaussuunnittelutyötä. Toimitatavat suunnittelutyössä ovat poikkeavia ja yrityskohtaisia. Tämän vuoksi mitoitusperusteet vaihtelevat, joka johtaa suunnitelmien erilaisuuteen. Rakennuksen tärinäsuojauksen suunnittelija ottaa vastuun suunnitelmien toimivuudesta käytännössä. Tämä saattaa helposti johtaa siihen, että rakennuksen tärinäsuojaus ylimitoitetaan. Ylimitoitus johtaa rakentamisen aikataulun mahdolliseen venymiseen ja nouseviin rakentamiskustannuksiin. Työmaan työnjohdolla ja muilla rakennushankkeen osapuolilla ei ole välttämättä riittävää tietotaitoa rakennuksen tärinäsuojaukseen liittyen ja näin ollen puuttuminen ja valvonta esimerkiksi ylimitoitettuja suunnitelmia vastaan on hankalaa.

8 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin erilaisia tärinäsuojausmenetelmiä junaradan läheisyydessä. Tavoitteena oli selvittää Suomessa käytettäviä erilaisia tärinäsuojausmenetelmiä, niiden kustannuksia ja kuinka haastavia ne ovat työteknisesti toteuttaa.

Aluksi aiheeseen perehdyttiin alan kirjallisuuden avulla. Kirjallisuudesta tuotiin esille pääkohdat tärinään liittyvistä seikoista. Seuraavaksi tarkasteltiin Keravalla rakenteilla olevaa hanketta, joka sijaitsee junaradan välittömässä läheisyydessä. Kohteen tärinäsuojaukseen liittyvät esitiedot selvitettiin suunnitelmista ja työselostuksista. Lisäksi kerättiin muistiinpanoja tärinäsuojausmenetelmien työteknisestä toteutuksesta. Haastattelin työmaan toimihenkilöitä, sekä muita hankkeessa työskenteleviä ammattilaisia. Tärinäsuojaukseen kuluneista kustannuksista kerättiin tietoa aliurakkasopimuksista ja tilausvahvistuksista.

Rakennuksen tärinäsuojausmenetelmien toteutus on suhteellisen helppoa, mutta erityistä tarkkuutta vaativa työvaihe. Merkitys eri työvaiheiden onnistuneella toteutuksella on hyvin suuri. Virheen sattuessa korjaustoimenpiteet ovat erittäin haastavia ja kalliita. Käymällä huolellisesti suunnitelmat ja työohjeet läpi kaikkien hankkeen osapuolien kanssa, varmistetaan vaativan työvaiheen onnistunut toteutus.

Tärinäsuojauksen kustannukset ovat esimerkkihankkeessa suhteellisen pienet verrattuna hankkeen kokonaiskustannuksiin. Kustannukset jäivät alle yhden prosentin koko hankkeen arvosta. Huomioitavaa oli, että suurin osa tärinäsuojausmenetelmien aiheuttamista kustannuksista olivat materiaalikustannuksia ja työkustannuksien osuus kokonaisuudesta jäi pieneksi. Työkustannusten alhaisuus johtui siitä, että tärinäsuojauksen aiheuttamat lisätyöt verrattuna tavanomaisiin työvaiheisiin olivat vähäiset. Voidaan sanoa, että erikoismateriaalien hintataso määrittää suurelta osin tärinäsuojauksen kustannukset, joten eri tavarantoimittajien kilpailuttaminen on ensiarvoisen tärkeää.

Tärinäsuojauksen onnistunutta toteutusta ei voida liikaa korostaa, sillä ihmisten asettamien korkeiden vaatimuksien takia pienikin värähtely rakennuksessa saatetaan kokea epämiellyttäväksi. Myös jatkuvasti kehittyvä tekniikka on herkkää tärinälle ja senkin vuoksi tärinäsuojauksen suunnittelun ja toteutuksen on onnistuttava. Rakennuksen tärinäsuojauksen puute tai epäonnistuminen voidaan rinnastaa mihin tahansa muuhun

laadulliseen riskiin rakentamisessa. Onhan selvää, että laadukas rakennus ei tärise taikka huoju.

Lähteet

Aalto, A. 1998. Syvästabilointi. Teknillinen korkeakoulu. Helsinki.

Bahrekazemi, M. 2001. Lime-cement columns as a countermeasure against train-induced ground vibration. Licentiate Thesis, Royal institute on Technology, Division of Soil and Rock Mechanics, ISSN 1650-951X. Stockholm.

BLY 9. 2002. Betonin kelluva lattia, suunnittelu- ja työohje, Suomen Betoniyhdistys ry. ja Suomen Betonilattiyhdistys ry. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.

Halme, A. 1970. Rakennus- ja huoneakustiikka. TKK:n ylioppilaskunta. Helsinki.

Hautalahti, P., Halkola, H., Puumalainen, N. 2007. Kivikon teollisuusalueen stabiloinnin koerakentaminen. Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto. Geotekninen osasto, julkaisu 92. Helsinki.

Kankare, J. 2009. Tieliikenteen tärinäselvitys. Helsinki.

Kaaresoja, K. 2007. Suomen rataverkon tärinäselvitys. Helsinki: Ratahallintokeskus.

Kurkela, J. 2011. Tärinäesteiden mahdollisuudet liikennetärinän vaimentamisessa. VTT. Espoo: Otamedia Oy.

Lehto, H., Luoma, T. 1994. Fysiikka 2: Fysiikka yhteiskunnassa, Aaltoliike. Uudistettu painos 5-7. Helsinki: Kirjayhtymä Oy.

Maankäyttö- ja rakennuslaki. 1999. Helsinki.

Mäkelä, T., Mäntynen, J., Säily, S. 2002. Rautatieliikenne. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Julkaisu 33. Tampere.

Määttä, M. 2000. Massastabilointi ja sen käyttösovellutukset. Opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Peltonen, T. 2012. Runkomelun ja tärinän huomioiminen rakentamisessa. Helsinki.

Rantamäki, M., Tammirinne, M. 1979. Pohjarakennus 465, 13, muuttumaton painos. Helsinki: Yliopistokustannus/ Otatieto.

Ratahallintokeskus. 2006. Vuosikertomus 2005. Loimaa: Priimuspaino Oy.

RT 38170- kortti. 2011.

RT 83-10902- kortti. 2007.

Suvanto, K. 2005. Tekniikan fysiikka 2. Helsinki: Edita.

Talja, A. 2004. Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta. VTT. Espoo: Otamedia Oy.

Talja, A., Vepsä, A., Kurkela, J., Halonen, T. 2008. Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi. VTT. Espoo: Otamedia Oy.

Törnqvist, J., Nuutilainen, O. 2002. Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin, Vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen. VTT. Espoo: Otamedia Oy.

Törnqvist, J. 2004. Tärinän vaimennuksen tärytuoteratkaisu väyläkohteisiin.

Törnqvist, J, Talja, A. 2006. Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. VTT. Espoo.

Verkkodokumentti 1,

GERB, Vibration Control Systems

http://www.gerbusa.com/index.php?id=530&no_cache=1&tx_photogals_elementid=1549&tx_photogals_image=0&MP=503-593. Luettu 25.9.2013.

Verkkodokumentti 2,

Tekniikka & Talous

<http://www.tekniikkatalous.fi/rakennus/kauniaisissa+nousee+kerrostalo+jousien+varaana210716> Luettu 25.9.2013.

Verkkodokumentti 3,

Esi-engineering Inc. <http://esi-engineering.comcastbiz.net/V9701.PDF> . Luettu 10.11.2013.

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

Vuolio, R. 1991. Räjätystyöt. Helsinki: Suomen Rakennusmedia.

Ympäristösuojelulaki 4.2.2000/86. Helsinki.

