

Riku Utriainen

**TÄRINÄÄ AIHEUTTAVIEN TÖIDEN VAIKUTUS RAKENNUKSIIN  
JA RAKENNUKSISSA OLEVIEN LUONNOLLISTEN VAURIOIDEN  
MÄÄRÄ**

**TÄRINÄÄ AIHEUTTAVIEN TÖIDEN VAIKUTUS RAKENNUKSIIN  
JA RAKENNUKSISSA OLEVIEN LUONNOLLISTEN VAURIOIDEN  
MÄÄRÄ**

Riku Utriainen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2019  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, Rakennesuunnittelu

---

Tekijä: Riku Utriainen

Opinnäytetyön nimi: Tärinää aiheuttavien töiden vaikutus rakennuksiin ja rakennuksissa olevien luonnollisten vaurioiden määrä

Työn ohjaaja: Vesa Kallio

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019

Sivumäärä: 40

---

Tärinästä aiheutunut rakenteen vaurioituminen voi johtua venymästä, repeämästä tai taipumisesta. Rakennuksiin syntyy halkeamia luonnostaankin ilman selkeää ulkoista syytä. Rakentamistapojen erilaisuudesta ja kallion laadusta riippuen tärinäraja-arvot vaihtelevat eri maissa. Tärinää aiheuttavia töitä tehtäessä tulee suorittaa ympäristön rakennuksien ja muiden kohteiden katselmuksia, jotta työn päätyttyä voidaan erottaa ennen tärinää aiheuttavia töitä syntyneet vauriot ja tärinästä johtuvat vauriot.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin tärinää aiheuttavien töiden vaikutusta rakennuksiin. Lisäksi perehdyttiin aalto-oppiin sekä käsiteltiin tärinän arviointia ja kiinteistökatselemuksia. Lopuksi tehtiin vauriotarkastelu 40 tyyppilliseen suomalaiseen pientaloon Instaro Oy:n tilaamana. Tutkimus tehtiin tilaajan kiinteistökatselemusmateriaaleja hyödyntäen.

Vauriotarkastelussa todetut vauriot tilastoitiin rakenneosittain. Keskiarvon perusteella mitattuna yleisimpiä vaurioita olivat julkisivumuurauksen, perusmuurin ja sisälevytyksen vauriot. Vauriotarkastelussa saatuja tuloksia voidaan hyödyntää käsiteltäessä sellaisia epäselviä tapauksia, joissa rakenteen vaurioitumisen ajankohta on epäselvä.

---

Asiasanat: tärinä, vauriot, kiinteistökatselemus

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, Structural design

---

Author: Riku Utriainen

Title of thesis: The impact of vibration on building

Supervisor: Vesa Kallio

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019

Pages: 40

---

The damaging of the structure caused by the vibration can be a result by stretch, tear or bending. Cracks form in the buildings also by nature reasons. Vibration boundaries vary between different countries. When the work causes the vibration, inspections have to be done to the buildings and to other targets. Inspections are used to section out the damages by the work from the already existing damages.

This thesis examines the impact of vibration on buildings. The work deals with vibration assessment and inspection of property. This thesis also takes a closer look at the wave theory. These parts were done as literature review. At the end a damage examination is made into 40 one-family houses ordered by Instaro Oy. The study was conducted utilizing the customer's materials.

The damages that were stated in the examination were registered according to the components. The most common damages based on the average were in facade masonry, foundation wall and drywall. These results can be used as support for handling cases where the time of structural damage is unclear.

---

Keywords: vibration, damage, inspection of property

## **ALKULAUSE**

Haluan kiittää Instaro Oy:n toimitusjohtajaa Juha-Pekka Kumpulaista tästä opin-  
näytetyöni aiheesta. Lisäksi kiitän Instaro Oy:n työntekijöitä kiinteistökatselmus-  
materiaalista. Hyvää ohjausta työhöni olen saanut ohjaavalta opettajaltani Vesa  
Kalliolta. Haluan kiittää myös tyttöystävääni tässä opinnäytetyössä tukemisessa.

Oulussa 27.1.2019

Riku Utriainen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	7
2 MAA- JA KALLIORAKENTAMISEN AALTO-OPPIA	8
2.1 Aaltoliike	8
2.2 Aaltotyypit kallio- ja maaperässä	10
2.2.1 Runkoaallot	10
2.2.2 Pinta-aallot	11
2.2.3 Aaltotyyppien etenemisnopeus ja niiden sisältämä energia	12
2.2.4 Aaltojen taittuminen ja heijastuminen	13
3 RAKENTEIDEN VAURIOITUMINEN	15
3.1 Tärinän aiheuttama rakennuksien vaurioitumisvaara	15
3.2 Rakenteiden vaurioituminen normaalin käytön seurauksena	15
3.3 Tutkimuksia rakennuksien luonnollisesta vaurioitumisesta	15
4 RAKENNUKSIIN KOHDISTUVAN TÄRINÄN ARVIOINTI	19
4.1 Rakennustapakerroin	21
4.2 Louhinnasta rakennuksiin kohdistuva tärinä	22
4.3 Maa- ja pohjarakennustöistä rakennuksiin kohdistuva tärinä	24
4.4 Vaihtoehtoinen menettely tärinän arviointiin	25
5 TÄRINÄVAIKUTUSTEN ARVIOINNIN LAAJUUS	26
6 KIINTEISTÖJEN JA MUIDEN KOHTEIDEN KATSELMUKSET	28
7 VAURIOTARKASTELU PIENTALOISSA	31
7.1 Vaurioiden tilastointi	31
7.2 Tilastojen tulkinta	33
7.3 Yleisimmät vauriotyypit	34
8 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	40

# 1 JOHDANTO

Kiinteistökatsemuksia tehdään tärinää aiheuttavien työmaiden läheisyydessä, jotta työmaan aiheuttamaksi väitettyjen vaurioiden korvausasioissa voitaisiin menetellä mahdollisimman oikeudenmukaisesti. Kiinteistökatseemukset tehdään ennen työmaan aloitusta ja heti työmaan päätyttyä, jotta voidaan todeta työmaan aikana mahdollisesti syntyneet vauriot ja aikaisempien vaurioiden mahdollinen suurentuminen. Työmaan aikana on myös mahdollista järjestää välikatsemuksia.

Rakennuksien vaurioitumista on tutkittu jonkin verran, varsinkin räjäytystöitä ja niistä aiheutuvia tärinöitä. Tutkimuksissa on usein selvitetty, minkälaista ja minkä suuruista tärinää tietynlaiset rakennukset kestävät ja mikä tekijä tärinässä korreloi rakennuksien vaurioitumisen kanssa. Tutkimuksilla on haettu yleensä tärinälle raja-arvoja, jotta räjäytystöitä voitaisiin tehdä tehokkaasti mutta turvallisesti myös asutulla alueella. Joissain tutkimuksissa on myös tutkittu rakennuksien luonnollista vaurioitumista ja sen nopeutta.

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä erilaisiin rakennuksien vaurioitumistapoihin ja -syihin. Työssä käsitellään myös aalto-oppia ja rakennuksiin kohdistuvan tärinän arviointia. Lisäksi tilastoidaan, kuinka paljon ja minkälaisia vaurioita erityyppisissä ja -ikäisissä rakennuksissa on.

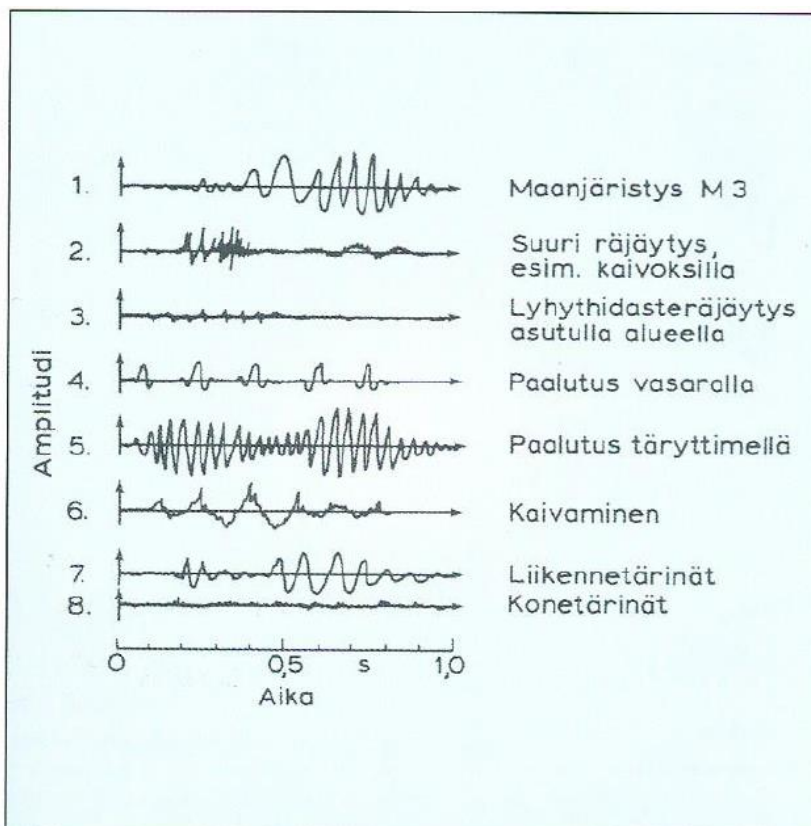
Työn tilaajana toimi rakennustekninen insinööritoimisto Instaro Oy, joka on perustettu Oulussa vuonna 2005. Yritys tarjoaa rakennusten korjausrakentamiseen, saneeraukseen ja ylläpitämiseen liittyviä asiantuntijapalveluita, joita ovat erilaiset tutkimus- ja selvitystehtävät sekä korjaussuunnittelu ja rakennuttaminen.

## 2 MAA- JA KALLIORAKENTAMISEN AALTO-OPPIA

Kalliossa etenevän merkittävän värinän ainoana lähteenä, pois lukien maanjäristykset, voidaan pitää vain räjäytystöitä. Maaperässä syntyvien ja etenevien värinöiden lähteet ovat moninaisemmat. Rakennustöiden monet toiminnot, muun muassa paalutus, maankaivu ja tiivistys, aiheuttavat maaperään värinää, joka etenee läheisiin rakennuksiin. Myös tie- ja kiskoliikenne voi pehmeiden maalajien alueella aiheuttaa häiritsevältä tuntuvaa värinää ja jopa vaurioita. (1, s. 3.)

### 2.1 Aaltoliike

Maantärinät ovat maanpinnan aaltoliikettä. Aaltoliike aiheutuu seismisten aaltojen etenemisestä. Seismisiä aaltoja aiheutuu muun muassa maanjärityksistä, räjäytyksistä, paalutuksesta, erilaisista koneista sekä liikenteestä. Kuvassa 1 on esitetty erilaisia värinälähteitä sekä niistä aiheutuvia värinöitä. (2, s. 298.)



KUVA 1. Erilaisia värinälähteitä sekä niistä aiheutuvia värinöitä (2, s. 299)



Yksinkertaisin heilahdusliike on sinimuotoinen heilahdus, eli niin sanottu harmoninen heilahdus. Heilahdusliikkeen suuruutta kutsutaan siirtymän heilahdusnopeusamplitudiksi. Siirtymän kaavaa 1 matemaattisesti derivoimalla saadaan heilahdusnopeuden kaava 2 ja sitä edelleen derivoimalla saadaan kiihtyvyyden kaavat 3 ja 4. (2, s. 298.)

$$u = A \sin \omega T \quad \text{KAAVA 1}$$

$$v = 2 \pi f A \quad \text{KAAVA 2}$$

$$a = 4 \pi^2 f^2 A \quad \text{KAAVA 3}$$

$$a = 2 \pi f v \quad \text{KAAVA 4}$$

$u$  = poikkeama hetkellä  $\omega T$  (m)

$A$  = siirtymän heilahdusamplitudi (m)

$T$  = jakson aika (s)

$\omega$  = kulmataajuus (rad/s)

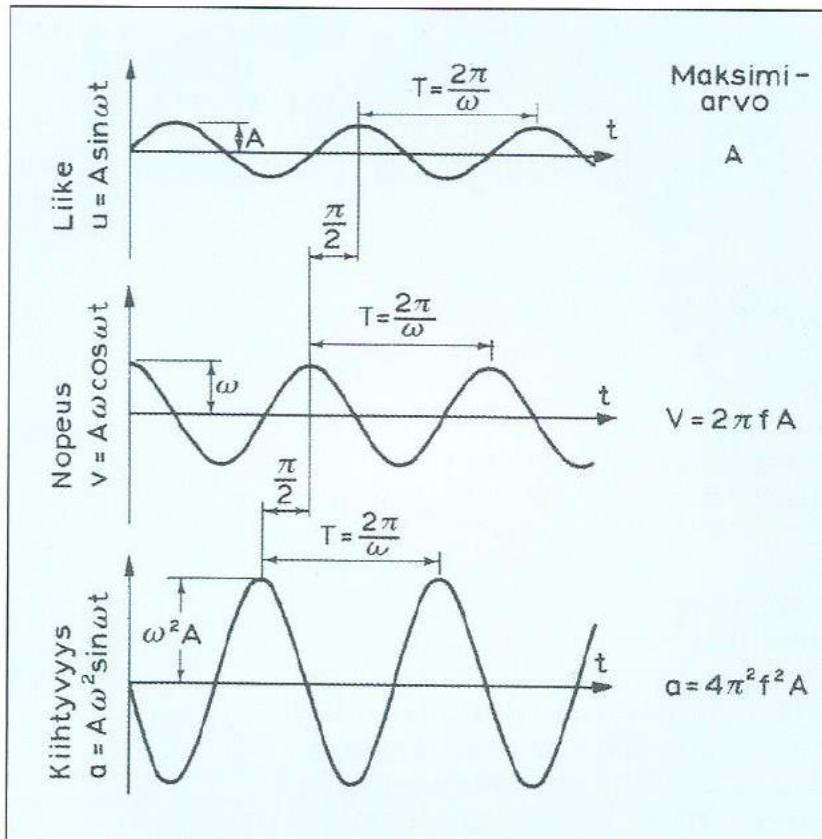
$f$  = taajuus (Hz tai 1/s)

$\pi$  = ympyrän kehän suhde halkaisijaan, kuvaa siniheilahdusta

$v$  = heilahdusnopeus (m/s)

$a$  = kiihtyvyys (m/s<sup>2</sup>)

Kuvassa 2 on esitetty sinimuotoinen heilahdus sekä siinä esiintyvät suureet (2, s. 298).



KUVA 2. Sinimuotoinen heilahdus ja siinä esiintyvät suureet (2, s. 299)

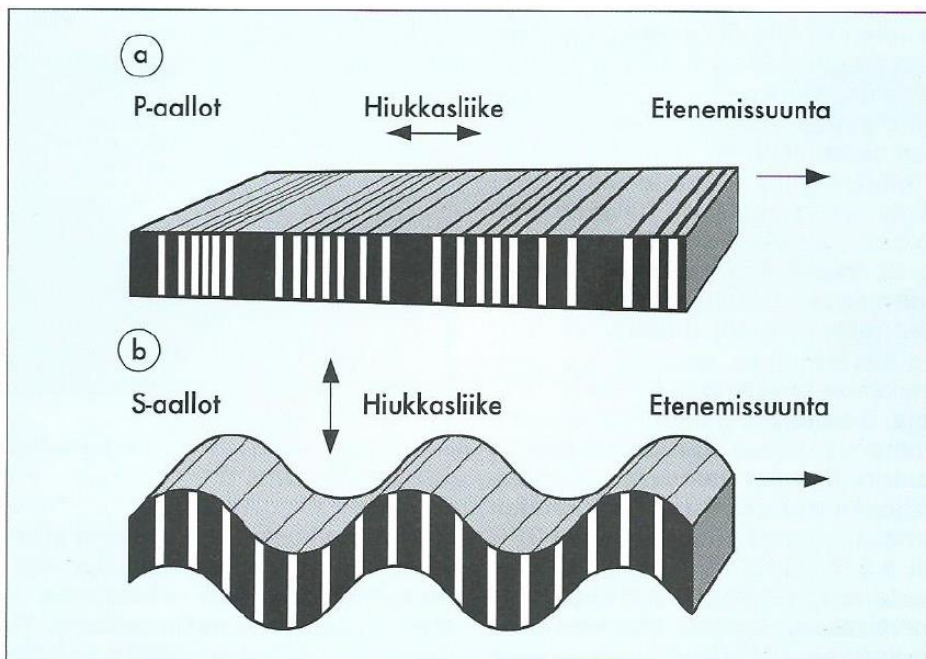
## 2.2 Aaltotyypit kallio- ja maaperässä

Shokkiaalto on kaikista nopein räjäytyksen aiheuttamista aaltoliikkeistä. Shokkiaalto tiivistää ja rikkoo kalliota. Kun shokkiaallon etenemisnopeus pienenee ja sen energia vähenee, se muuttuu plastiseksi aalloksi, joka voi aiheuttaa kallioon vain plastisia muutoksia. Aallon voimakkuuden edelleen vaimennettua plastinen aalto muuttuu kimmoaalloksi. Kimmoaalto ei aiheuta pysyviä muodonmuutoksia, vaan ainehiukkaset palautuvat puristuksen ja vedon loputtua alkuperäiselle paikalleen. Kimmoaalto jakautuu kahteen päätyyppiin, runkoaaltoihin ja pinta-aaltoihin. (2, s. 299.)

### 2.2.1 Runkoaallot

Runkoaalloista tunnetuimmat aaltotyypit ovat P-aalto ja S-aalto. P-aalloissa (pitkittäinen aalto) ainehiukkaset liikkuvat pitkittäisessä suunnassa värinän etenemissuuntaan. S-aalloissa (poikittainen aalto) ainehiukkaset liikkuvat poikittaisessa

suunnassa värinän etenemissuuntaan. Kuvassa 3 on esitetty P- ja S-aaltojen aiheuttamat muodonmuutokset. (2, s. 299.)

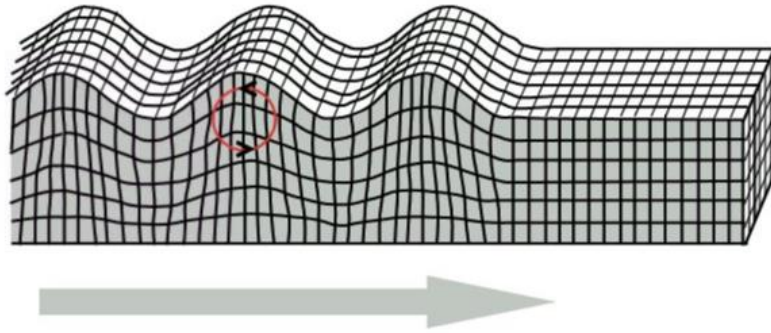


KUVA 3. P- ja S-aaltojen aiheuttamat muodonmuutokset (2, s. 299)

### 2.2.2 Pinta-aallot

Pinta-aalloista tunnetuin aaltotyyppi on R-aalto (Rayleigh aalto). R-aalto syntyy, kun pyöristynyt runkoaaltorintama kohtaa vapaan rajapinnan ja taipuu. R-aalto aiheuttaa ellipsin muotoisen liikkeen. Liike on osittain sen pinnan suuntainen, mitä pitkin aalto etenee ja osittain sitä pintaa kohtisuorassa suunnassa. Kahden erilaisen materiaalin rajapinnassa syntyy puolestaan Stoneley-aalto. Räjätystutkimuksissa on myös havaittu pinta-aaltotyyppisiä C- ja H-aaltoja. Kuvassa 4 on esitetty R-aallon aiheuttamat muodonmuutokset. (2, s. 300.)

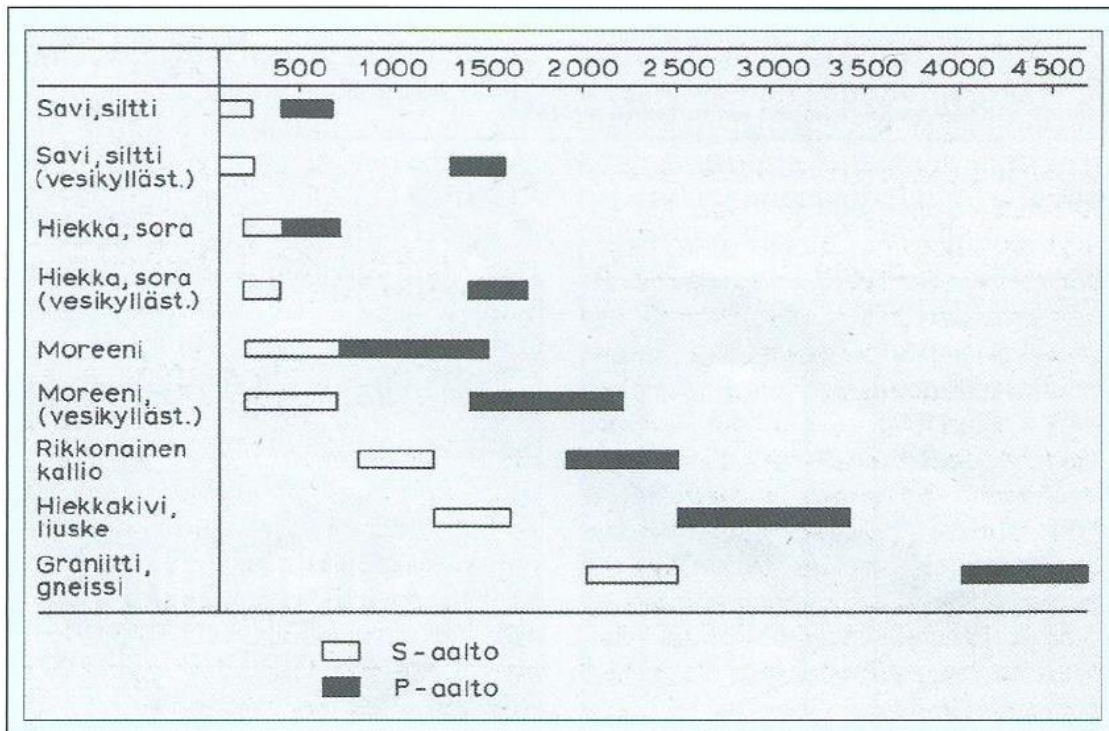
## Rayleigh Wave



KUVA 4. R-aallon aiheuttamat muodonmuutokset (3)

### 2.2.3 Aaltotyyppien etenemisnopeus ja niiden sisältämä energia

Seismisissä tutkimuksissa tarkkaillaan yleensä vain P-, S- ja R-aaltoja. P-aallot etenevät näistä kolmesta aaltotyypistä nopeimmin. S-aallot ovat toiseksi nopein aaltotyyppi, niiden etenemisnopeus ilmaistaan lukuarvona  $(1/3)^{1/2}$  eli 0,577 P-aaltojen nopeudesta. Tämä suhdeluku pitää paikkaansa kiinteässä, kovassa kalli-ossa. Soramaassa etenemisnopeuksien suhdeluku on noin 0,45. R-aallot ovat näistä kolmesta hitaimmin etenevä aaltotyyppi. Niiden etenemisnopeus on korkeintaan 0,9ertainen S-aaltojen etenemisnopeudesta. Mitä hitaampi aallon etenemisnopeus on, sitä suurempi vahinkovaikutus aallosta syntyy. Kuvassa 5 on esitetty P- ja S-aaltojen etenemisnopeuksia eri kallio- ja maalajeissa. (1, s. 9; 2, s. 300.)



KUVA 5. P- ja S-aaltojen etenemisnopeuksia (m/s) eri kallio- ja maalajeissa (2, s. 300)

Aaltotyyppien sisältämä energia jakautuu kuvan 6 mukaisesti (2, s. 300).

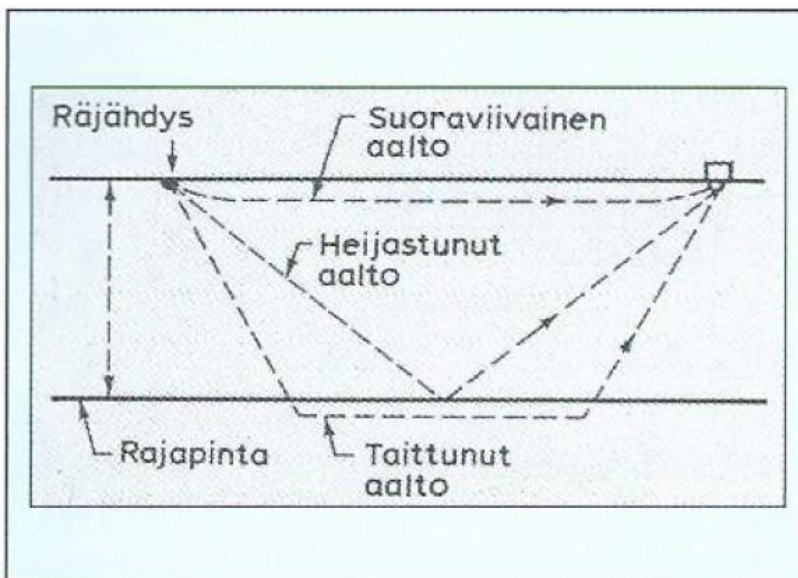
Aaltotyyppi	Energian prosentuaalinen jakautuminen
P-aalto	5 - 20
S-aalto	15 - 50
R-aalto	45 - 80

KUVA 6. Energian jakautuminen aaltotyyppien kesken (2, s. 300)

#### 2.2.4 Aaltojen taittuminen ja heijastuminen

P-, S- ja R-aallot voivat edetä kolmea eri tietä. Aalto voi edetä suoraviivaisesti tai sitten se voi joko taittua tai heijastua vapaasta rajapinnasta. Tilannetta monimutkaistaa se, että ainoastaan suorassa kulmassa saapuvassa aallossa puristus pysyy puristuksena ja leikkaus leikkauksena, eli esimerkiksi P-aalto jakautuu vain heijastuneeksi ja taittuneeksi P-aalloksi. Yleensä P- ja S-aalloista syntyy kaksi

heijastunutta P- ja S-aaltoa ja kaksi taittunutta P- ja S-aaltoa. Kuvassa 7 on esitetty aaltojen etenemistavat. (2, s. 300.)



KUVA 7. Aaltojen etenemistavat (2, s. 300)

## **3 RAKENTEIDEN VAURIOITUMINEN**

### **3.1 Tärinän aiheuttama rakennuksien vaurioitumisvaara**

Tärinästä aiheutunut rakenteen vaurioituminen voi johtua venymästä, repeämästä tai taipumisesta. Vaurioraja-arvoja määriteltäessä on rakenteiden elastisia ominaisuuksia pidettävä lähtökohtana. Toisaalta on huomioitava, että rakenteissa olevat paikalliset epäsäännöllisyydet ja jännitystilat voivat vaikuttaa rakenteen tärinäkestävyyteen huomattavasti. (2, s. 318.)

Rakennuksien kannalta vahingollisimpana tärinänä on pidetty matalataajuisia, noin 4 - 20 Hz:n jaksolukualueella vaikuttavaa tärinää. Tämä jaksolukualue on lähellä rakennuksien ominaistaajuuutta. Ominaisvärähtelyaika riippuu rakennuksen mittasuhteista ja massasta. Jos tärinän taajuus on sama kuin rakennuksen ominaisvärähtelyaika, syntyy seisova-aaltoliike, jolloin rakenne resonoi. Tällöin pienikin tärinä vahvistuu aaltojen samanvaiheisuuden takia ja tärinävaurioiden syntymisen riski kasvaa. (1, s. 27.)

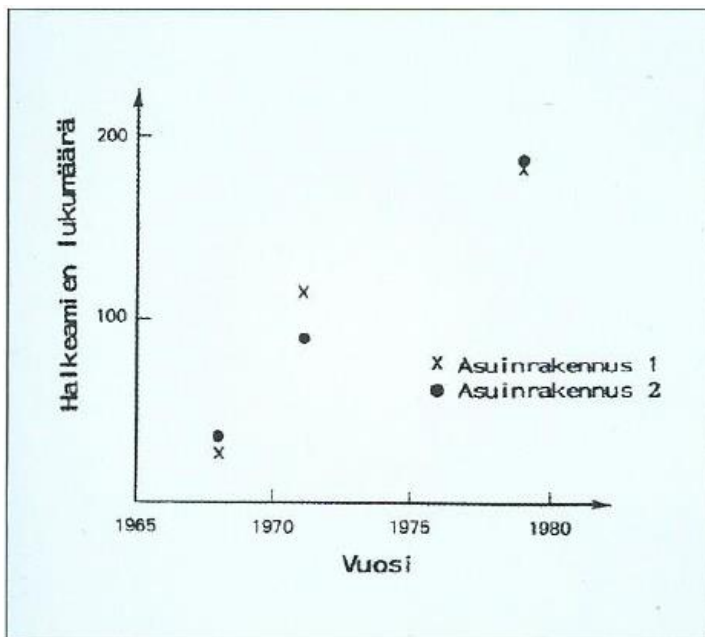
### **3.2 Rakenteiden vaurioituminen normaalin käytön seurauksena**

Halkeamia syntyy rakennuksiin luonnostaankin ilman mitään selkeää ulkoista syytä, esimerkiksi tärinää. Rakennuksiin syntyy halkeamia muun muassa lämpötilan vaihteluista, rakenteellisista jännitystilastoista, rakennemateriaalin kemiallisista muutoksista, puun kutistumisesta, rakenteen perustan painumisesta sekä mahdollisista rakennusvirheistä johtuen. Myös rakennuksien käyttämisestä, esimerkiksi ovien paiskauksen omaisesta sulkeutumisesta, saattaa aiheutua rakennuksiin halkeamia. Pienimmillään aiheutuvat halkeamat ovat erilaisissa saumoissa ja nurkissa esiintyviä hiushalkeamia ja vakavimmillaan kantavissa rakenteissa esiintyviä vaurioita, jotka saattavat pahimmillaan johtaa koko rakennuksen purkamiseen. (1, s. 61; 2, s. 318.)

### **3.3 Tutkimuksia rakennuksien luonnollisesta vaurioitumisesta**

Ruotsissa on tutkittu vuosien 1968 – 1980 välisenä aikana kahdessa asuinrakennuksessa olevien halkeamien kehittymistä. Rakennuksiin ei kohdistunut tärinää

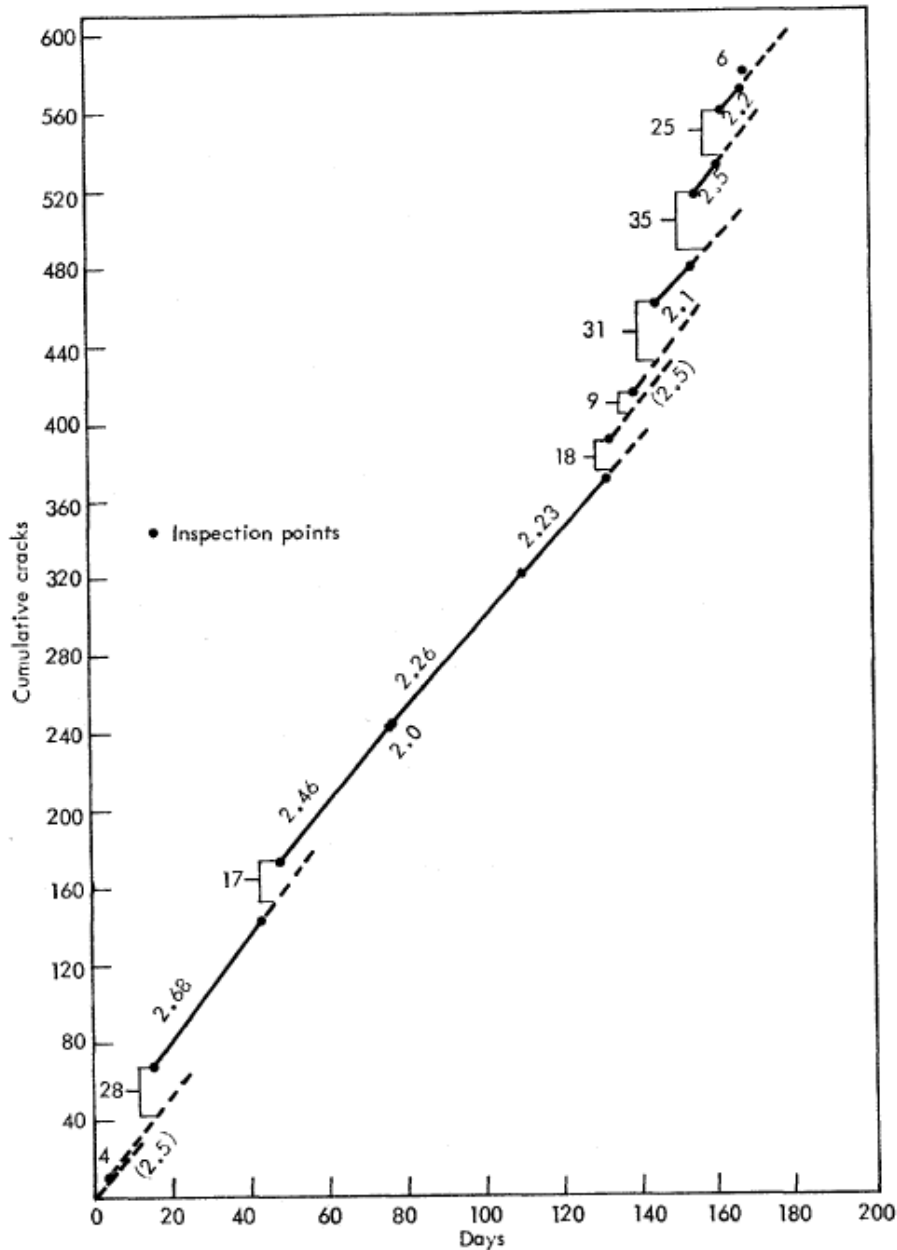
kyseisenä ajanjaksona. Kuvassa 8 on kuvattu halkeamien määrän kehitystä näissä rakennuksissa. (2, s. 318.)



KUVA 8. Halkeamien määrän kehitys rakennuksen vanhetessa (2, s. 319)

Yhdysvalloissa on tehty vuosien 1965 ja 1966 aikana tutkimus, jossa tutkittiin 43:n muuratun rakennuksen vaurioiden määrän kehitystä 200:n päivän ajan. Tutkimuksessa tutkittiin muun muassa rakennusten luonnollista vaurioitumista sekä räjäytystärinöiden vaikutusta rakennuksien vaurioitumiseen. Tutkimuksessa saatiin selville muun muassa se, että niinä ajankohtina, jolloin rakennukset eivät altistuneet tärinälle, niiden keskimääräinen vaurioitumisnopeus oli 2,5 halkeamaa / päivä / 43 rakennusta. Kuvassa 9 on esitetty vaurioiden kumulatiivista kertymää. (4, s. 12.)



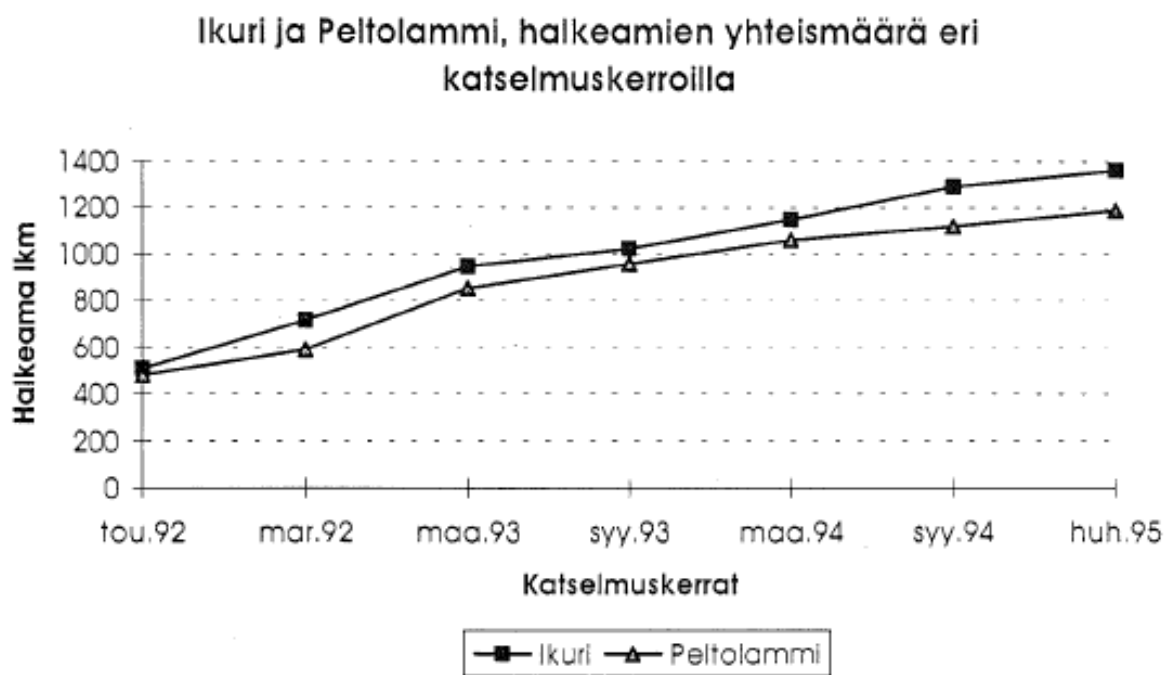


KUVA 9. Halkeamien määrän kehitys rakennuksissa (4, s. 10)

Suomessa on tutkittu vuosien 1992 – 1995 välisenä aikana rakennuksiin luonnostaan syntyviä vaurioita Tampereella Ikurin ja Peltolammin kaupunginosissa. Ikurin alueen lähellä ei räjäytelty. Peltolammin alueen lähellä oli kiviaineslouhimo. Suurimmat rakennuksiin kohdistuneet heilahdusnopeuden pystykomponentin arvot olivat Peltolammin alueella 4 mm/s. Tutkimukseen kuuluneet rakennukset ovat valmistuneet pääosin vuosien 1987 - 1992 aikana. Rakennuskanta oli tutkimuksen alkaessa noin 0 - 5 vuotta vanhaa. (1, s. 61 – 66.)

Seurantaan valittiin 20 rakennusta kummaltakin asuinalueelta. Rakennukset olivat alueiden kesken vertailukelpoisia, mutta alueiden sisältä oli valittu erityyppisiä rakennuksia, jotta saatiin tietoja monista erilaisista rakennustyypeistä. Kaikki rakennukset olivat pientaloja. (1, s. 61.)

Tutkimustuloksena Ikurin ja Peltolammin alueella oli, että halkeamien määrä kasvoi suhteellisen tasaisesti vuosien 1992 – 1995 aikana. Rakennusten välillä esiintyi suurta hajontaa halkeamamäärissä. Ensimmäisessä katselmuksessa kummallakin alueella havaittiin noin 500 halkeamaa/alue. Viimeisessä katselmuksessa vaurioiden määrä oli kasvanut noin 2,5 – 3 kertaiseksi alkukatselmuksessa todettuun määrään. Kummallakin alueella halkeamien kokonaismäärän kehitys oli yhdensuuntaista, ja tutkimuksen johtopäätöksenä olikin, että Peltolammin alueen läheisellä kiviaineslouhimolla ei ollut vaikutusta rakennuksien vauriomäärän kehittymiseen. Katselmuksia järjestettiin tutkimuksen aikana yhteensä 7 kertaa. Kuvassa 10 on esitetty halkeamien kokonaismäärän kehitystä kummallakin alueella. (1, s. 62 – 69.)

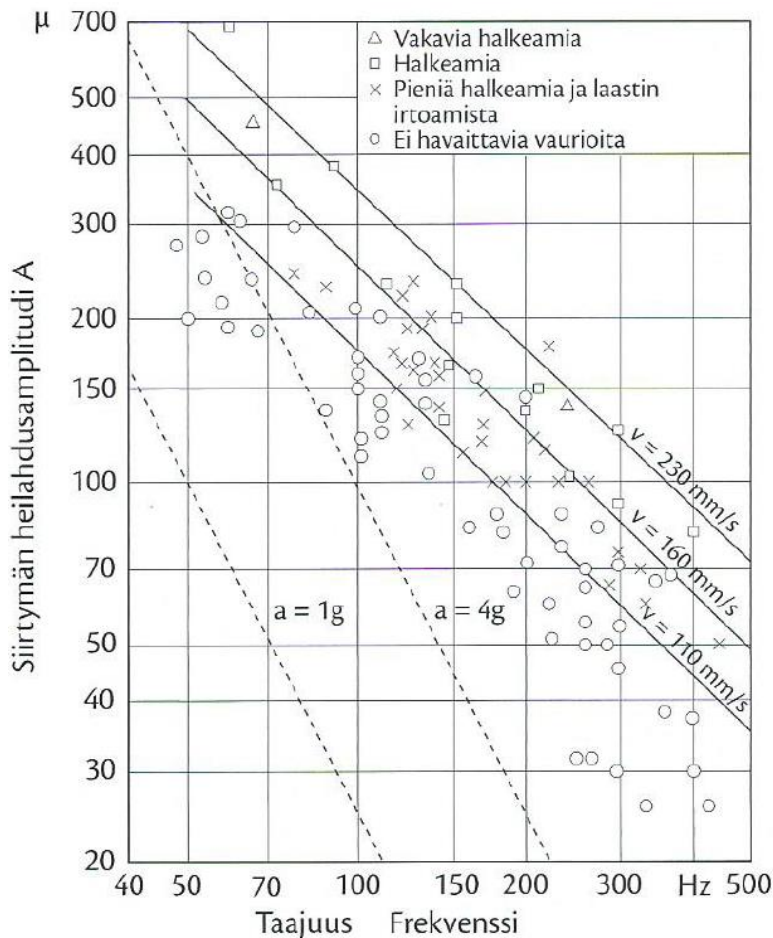


KUVA 10. Halkeamien kokonaismäärän kehitys alueittain (1, s. 63)

## 4 RAKENNUKSIIN KOHDISTUVAN TÄRINÄN ARVIOINTI

Tärinäraja-arvot ovat erilaisia eri maissa. Tämä johtuu muun muassa rakentamistapojen erilaisuudesta ja kallion laadusta. Peruskalliomaissa, kuten Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa, rakennuksiin kohdistuva tärinä on varsinkin lähietäisyyksillä korkeataajuisia. Tärinää mitataan yleensä kantavasta rakenteesta mahdollisimman läheltä rakennuksen perustaa. (5, s. 163.)

Suomessa käytettävien tärinäraja-arvojen perusteet luotiin 1940 – 1950-luvuilla Ruotsissa. Mittaukset tehtiin pääosin Tukholman alueella 0 – 50 metrin päästä räjäytyskohteesta. Heilahdusnopeus osoittautui parhaaksi vauriokriteeriksi näissä tutkimuksissa. Mittauksissa pystykomponentti oli yleensä suurin ja vaikuttavin, joten rakennuksissa ryhdyttiin seuraamaan vähäisen tärinämittauskaluston takia vain heilahdusnopeuden pystykomponenttia. Kuvassa 11 on esitetty tutkimuksessa selvitettyjen tärinätunnuslukujen ja vaurioiden välistä riippuvuutta. Tutkimuksessa olleet talot olivat kalliolle perustettuja kivitaloja. Räjäytystärinöiden seismiset etenemisnopeudet kallioperässä ovat olleet suurempia kuin 4 500 m/s. (5, s. 163.)



KUVA 11. Tärinäennustelukujen ja vaurioiden välinen riippuvuus (5, s. 163)

Nykyään, kun tärinämittarit ovat kehittyneet, on ryhdytty seuraamaan kaikkia kolmea komponenttia sekä tärinän taajuutta. Tukholman tutkimuksien jälkeen on huomattu, että varsinkin pitkillä etäisyyksillä, noin 200 metrin etäisyyksistä alkaen, toinen vaakakomponentti on yleensä merkittävästi pystykomponenttia suurempi. Myöskään kolmikomponenttimittaus ei tuo enää merkittävää kustannuslisää pystykomponenttimittaukseen verrattuna. (1, s. 32; 2, s. 305.)

Yhdysvalloissa, missä rakennukset ovat suurelta osin sedimenttikallioiden päällä, julkaistiin vuonna 1980 tutkimus, jossa raja-arvona oli taajuussidonnainen heilahdusnopeuden arvo. Tutkimuksessa mittaukset tehtiin rakennuksen vierestä maan pinnalta. Tätä käytäntöä sovelletaan yleisesti maissa, joissa rakennuksien alla on sedimenttikalliota. Sedimenttialueilla mittaustarve ei ole niin suuri kuin peruskallioalueilla, mutta siellä tehtävät mittaukset tehdään aina kolmikomponenttimittareilla. (5, s. 163 – 164 ja 166.)

Myös Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa harkittiin 1980-luvun alussa siirtymistä taajuussidonnaisiin heilahdusnopeuden raja-arvoihin. Tähän käytäntöön ei kuitenkaan siirrytty, koska heilahdusnopeussidonnaisesta mittaustulostuksesta oli vuosikymmenien kokemus eikä silloisella tärinämittauskalustolla voinut selvittää riittäväällä tasolla tärinän taajuutta. (5, s. 164 – 165.)

Suomessa tärinälle on esitetty ohjearvoja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisemassa ohjeessa ”RIL 253-2010 Rakentamisen aiheuttamat tärinät”. Ohje selventää Suomen rakentamismääräyskokoelman B3 ja Eurokoodin 1997-1 ja sen kansallisen liitteen käyttöä tärinän huomioon ottamisessa rakennushankkeissa. (6, s. 3.)

#### **4.1 Rakennustapakerroin**

Suomessa hyväkuntoisten rakennuksien arviointiin on käytössä viisiportainen taulukko, jonka avulla määritellään rakennukselle rakennustapakerroin  $F_k$ . Mikäli arvioitava rakenne ei sisälly taulukon 1 luokituksiin tai rakenne on huonossa kunnossa, sen tärinäkestävyys on arvioitava tapauskohtaisesti. Hyvässä kunnossa olevien, tukipaaluille perustettujen rakennuksien taulukon 1 arvoja voidaan korottaa tapauskohtaisesti enintään 20 %. Taulukossa 1 esitetyllä kelpoisuudella tarkoitetaan vastaavan pohja-, kalliorakenne- tai rakennesuunnittelijan tai tärinäasiantuntijan kelpoisuutta. Taulukossa 1 on esitetty rakenneluokan määräytyminen sekä sen perusteella saatava rakennustapakerroin. (6, s. 24.)

*TAULUKKO 1. Rakennustapakertoimet tärinän ohjearvon määrittämiseksi rakennuksen perustuksessa (6, s. 24)*

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

#### **4.2 Louhinnasta rakennuksiin kohdistuva tärinä**

Suomessa räjäytystöille on käytössä etäisyysidonnaiset heilahdusnopeuden raja-arvot. Etäisyysidonnaisuus perustuu siihen, että tärinän edetessä väliaineessa korkeat jaksoluvut suodattuvat pois. Koska matalataajuinen tärinä on rakennuksille vaarallisempaa kuin korkeataajuinen, pienenevät sallitut raja-arvot etäisyyden kasvaessa. (5, s. 167.)

Perustuksille käytetään pääsääntöisesti kriteerinä heilahdusnopeuden suurimman komponentin maksimiarvoa. Tästä voidaan poiketa, jos tärinävaikutusten arvioinnissa on esitetty, että joku muu mittaustapa antaa riittävän tiedon tärinävaurioiden välttämiseksi. Vaativuusluokassa 1 (helppo) voidaan käyttää kriteerinä pelkästään tärinän pystykomponenttia. Taulukossa 2 on esitetty louhintatärinän heilahdusnopeuksien perusarvot etäisyysidonnaisesti erilaisille maa- ja kallio-pohjille perustetuille rakennuksille. Taulukon otsakerivillä on esitetty rakennuksen

perustuksien alapinnassa oleva maa- tai kalliopohja. Kun sora tai moreeni on löyhää, arvioidaan heilahdusnopeuden perusarvo sarakkeen 3 perusteella. (6, s. 19, 21 ja 25.)

*TAULUKKO 2. Louhintätärinän heilahdusnopeuden perusarvo  $v_1$  (mm/s) (6, s. 25)*

1	2	3	4	5
Etäisyys (m)	Pehmeä savi, leikkauslujuus < 25 kN/m <sup>2</sup>	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

Louhintätärinän heilahdusnopeuden suurin ohjearvo saadaan kaavasta 5 (6, s. 24).

$$v = F_k v_1$$

**KAAVA 5**

$v$  = heilahdusnopeuden ohjearvo (mm/s)

$F_k$  = rakennustapakerroin (taulukko 1)

$v_1$  = louhintätärinän heilahdusnopeuden perusarvo (mm/s) (taulukko 2)

Koska tärinän taajuutta ei tunneta eri etäisyyksillä tarkasti, taulukon 2 arvot ovat likimääräisiä, turvallisiksi todettuja heilahdusnopeuden arvoja. Tilastollinen vaurioraja-arvo, jolloin kosmeettisia vaurioita alkaa syntyä, on noin 1,5 kertaa suurempi kuin suunnitteluraja-arvo. Raonmuodostusta alkaa ilmetä noin 2 kertaa suunnitteluraja-arvoja suuremmilla heilahdusnopeuksilla. (5, s. 167.)

### 4.3 Maa- ja pohjarakennustöistä rakennuksiin kohdistuva tärinä

Maa- ja pohjarakennustöiden heilahdusnopeuden perusarvo erilaisille maa- ja kalliopohjille perustetuille rakennuksille saadaan taulukosta 3. Taulukon otsakerivillä on esitetty rakennuksen perustuksen alapinnassa oleva maa- tai kalliopohja. Kun sora tai moreeni on löyhää, arvioidaan heilahdusnopeuden perusarvo sarakkeen 3 mukaan. Tärinäkuormituksen ollessa jatkuvaa suositellaan taulukon 3 ohjearvojen pienentämistä vähintään 25 %. (6, s. 26.)

TAULUKKO 3. Maa- ja pohjarakennustöiden heilahdusnopeuden perusarvo  $v_0$  (mm/s) (6, s. 26)

1	2	3	4	5
Työmenetelmä	Pehmeä savi, leikkauslujuus < 25 kN/m <sup>2</sup>	Sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka	Tiivis hiekka, sora, moreeni, rikkonainen tai löyhä kallio	Kiinteä kallio
Pudotustiivistys, lyöntipaalu- tus, maankaivu, työmaaliikenne, pontitus lyömällä ja täryttämällä, tärytiivistys, porapaaletus, iskuvasaran käyttö eri tarkoituksiin *)	5	7	10	12

\*) kun iskuvasaralla hakataan kalliota, ohjearvot määritellään louhinnan arvojen mukaisesti (taulukko 2).

Maa- ja pohjarakennustöistä aiheutuvan tärinän heilahdusnopeuden ohjearvo saadaan kaavasta 6 (6, s. 26).

$$v = F_k v_0$$

KAAVA 6

$v$  = heilahdusnopeuden ohjearvo (mm/s)

$F_k$  = rakennustapakerroin (taulukko 1)

$v_0$  = maa- ja pohjarakennustöiden aiheuttaman tärinän perusarvo työmenetelmän ja maa- ja kallioperän perusteella (mm/s) (taulukko 3)



#### 4.4 Vaihtoehtoinen menettely tärinän arviointiin

Vaihtoehtoisesti tärinän ohjearvo voidaan määrittää kaavan 7 mukaan. Menettely ottaa huomioon tärinän taajuuden vaikutuksen ja sitä voidaan käyttää vaativuusluokassa 3. Tärinän kriteerinä voi olla heilahdusnopeuden sijasta myös tärinän siirtymäamplitudi 0,2 mm. (6, s. 26.)

$$v = F_k v_A$$

KAAVA 7

$v$  = heilahdusnopeuden ohjearvo (mm/s)

$F_k$  = rakennustapakerroin (taulukko 1)

$v_A = 2 \pi f 0,2 \text{ mm}$ , heilahdusnopeuden perusarvo vaihtoehtoisessa menettelyssä (mm/s)

$\pi$  = ympyrän kehän suhde halkaisijaan, kuvaa siniheilahdusta

$f$  = taajuus (Hz tai 1/s)

Vaihtoehtoinen menettely sopii tilanteisiin, joissa tärinäkuormitusta ei voida määrittää kohtien 4.1.2 ja 4.1.3 mukaisesti. Lisäksi tärinän taajuuden tulee olla mitattu ja sen on oltava alle 5 Hz. Hallitseva kapeakaistainen taajuus on voitava selkeästi määrittää mittaustuloksista. (6, s. 27.)

## 5 TÄRINÄVAIKUTUSTEN ARVIOINNIN LAAJUUS

Tärinävaikutusten arvioinnin alue määritellään rakentamismenetelmästä riippuvan tärinän voimakkuuden sekä ympäristön tärinäherkkyyden perusteella. Tärinän suuruus samoilla etäisyyksillä työkohteesta voi olla erisuuruista, koska maa- ja kallioperä vaikuttavat tärinän vaimenemiseen. Tärinän suuruuden arviointiin on kehitetty ennustemalleja, joita voi käyttää apuna tärinävaikutusten aluetta määrittäessä. Tärinä riippuu merkittävästi paikallisista olosuhteista, ja joskus aikaisempaa tietoa voi olla riittämättömästi. Tällaisessa tapauksessa alueella voi olla syytä tehdä ennakkokokeita tärinän suuruuden selvittämiseksi. (6, s. 33.)

Tärinän vaikutusten laajuus esitetään kirjallisesti karttapohjalla suunnitelma-asia- kirjoissa. Arvioinnin laajuuden kuvaamista tarkennetaan tarvittaessa erillisellä selostuksella. Tärinäasiantuntija tai vastaava pohjarakenne-, kalliorakenne- tai rakennesuunnittelija huolehtii siitä, että tärinä vaikutusten arvioinnin alue on riittävän kokoinen. Taulukossa 4 on esitetty perusteita tärinävaikutusten arvioinnin aluerajausten tekemiseksi louhintatöissä. (6, s. 33.)

*TAULUKKO 4. Perusteita tärinävaikutusten arvioinnin aluerajaukseksi louhintatöissä (6, s. 33)*

Syntyvän tärinän luonne	Vaativuusluokka 1	Vaativuusluokka 2	Vaativuusluokka 3
Tärinä voi olla havaittavissa vielä noin 100 metrin etäisyydellä, louhinta asutuskeskuksessa tai kunnallistekniikkaan liittyvä louhinta	Lähimmät kohteet erisuunnissa, ei kuitenkaan yli 50 metrin etäisyydellä	Alue 50 - 100 metrin etäisyydellä	Alue 50 - 100 metrin etäisyydellä sekä 100 - 200 metrin etäisyydellä erityisen tärinäherkät kohteet
Tärinä voi olla havaittavissa vielä kilometrien päässä, massalouhinta	Lähimmät kohteet erisuunnissa	Suurimpien räjäytyskenttien räjäytysainemäärästä riippuva alue	Suurimpien räjäytyskenttien räjähdysainemäärästä riippuva alue, kauempana myös erityisen tärinäherkät kohteet erillisen selvityksen mukaan

Tärinää aiheuttavien maa- ja pohjarakennustöiden tärinävaikutusten laajuuden arvioinnissa voidaan käyttää apuna eri työmenetelmille kehitettyjä tärinäennustusmalleja. Yleensä tärinävaikutusten arvioinnin etäisyys jää maa- ja pohjarakennustöissä yleensä alle 50 metrin päähän työkohteesta, lukuun ottamatta pudotustiivistystä ja suuriläpimittaisten kärjestään suljettujen paalujen lyöntipaaluista. Mikäli maa- ja pohjarakennustyömaan läheisyydessä on tärinälle herkkiä laitteita, voi arvioitavan alueen laajuus kasvaa moninkertaiseksi. (6, s. 33.)

On tärkeää huomata, että tärinävaikutusten arviointi tulee tehdä vähintään samassa laajuudessa kuin työn suoritukseen liittyvät kiinteistökatselmukset. Alueen rajautumisessa on myös otettava huomioon melun ja ilmanpaineaallon vaikutus. Kun tärinän vaikutusten arvioinnissa otetaan huomioon myös tärinän aiheuttama häiriö ihmisille, voidaan yleensä vähentää työn aikana tulevia valituksia. (6, s. 34.)

Kohteen suunnittelua varten voidaan alueella tehdä ennakkokokeita, kuten koe-paalutuksia tai koeräjäytyksiä. Pudotuspainolaitteella tehtävien ennakkokokeiden perusteella voidaan eteenkin arvioida lyöntipaalutuksesta ja pudotustiivistyksestä aiheutuvaa tärinää maaperään ja tärinän siirtymistä rakennuksiin. Tärinän amplitudi voi poiketa koejärjestelyistä riippuen varsinaisen työn aiheuttamasta tärinästä. Ennakkokokeet palvelevat myös kohteen tärinävaikutusten arviointia, jos menetelmät vastaavat varsinaisessa työssä käytettäviä työtapoja ja tärinän leviämisestä ympäristöön saadaan tarpeeksi havaintoja. (6, s. 34.)

## 6 KIINTEISTÖJEN JA MUIDEN KOHTEIDEN KATSELMUKSET

Kaikkiin rakennuksiin ja rakenteisiin tulee niiden elinaikana vaurioita muun muassa normaalin käytön seurauksena. Jos rakennustyö aiheuttaa vaurioita läheisiin rakennuksiin, vauriot tulee korvata. Tärinää aiheuttaviin töihin tulee sisällyttää ympäristön rakennuksien ja muiden kohteiden katselmuksella siinä laajuudessa, että ennen rakennustöiden aloittamista olemassa olleet vauriot ovat tiedossa ja dokumentoitu. Näin voidaan erottaa rakennustyön päättymisen jälkeen ennen rakennustyömaata olleet vauriot rakennustyön aikana syntyneistä vaurioista. Eri katselmuskertojen välisiä tuloksia vertaillaessa tulee huomioida ajankohtien mahdollisesti erilaiset kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet. (1, s. 100; 6, s. 36.)

Katselmuksella tarkoitetaan toimitusta, jossa asianosaiset tarkastavat ja kirjaavat katselmuskohteessa olevat vauriot. Katselmuksen järjestämistä ja kiinteistön omistajan suostumusta ei voi lakimääräisesti velvoittaa. Usein katselmuksella on kuitenkin sisällytetty urakkasopimukseen tai vakuutusopimukseen. Katselmuksen tekemisestä vastaa tärinäasiantuntija. (6, s. 36.)

Rakennusten ja rakenteiden katselmuksella tulee laatia suunnitelma, jossa esitetään tarkastettavat kohteet ja työtapat. Katselmuksen yhteydessä tulee tarkistaa, että tärinävaikutusten arvioinnissa esitetyt tärinäherkkien laitteiden ja toimintojen listaus ja kuvaus pitävät paikkaansa. Katselmuksen tekijä tulisi pitää samana ennako- ja jälkikatselmuksessa. (6, s. 36.)

Vastuu tärinän aiheuttamista vahingoista ulkopuolisille määräytyy ympäristövahinkolain mukaan ankaran vastuun mukaisesti. Tällöin korvausvastuu syntyy, vaikka työssä olisi menetelty huolellisesti ja ohjeiden mukaisesti. Tämän takia on tärkeää selvittää, onko vaurio syntynyt työn aikana ja onko tärinä ollut niin suurta, että se olisi voinut aiheuttaa vaurion. (6, s. 36.)

Tärinävaikutusten arvioinnissa määritellään katselmuksen alue. Katselmuksen alueella sijaitsevilla kiinteistöillä ja muilla kohteilla järjestetään katselmuksella. Ennen työn aloittamista on tarkistettava, onko tärinävaikutusten arvioinnin jälkeen tapahtunut sellaisia muutoksia, joilla olisi vaikutusta katselmuksen alueen laajuuteen. Mah-

dollisten työstä aiheutuvien vahinkojen määrittämiseksi katselmus tehdään välittömästi ennen työn aloitusta, tarvittaessa työn aikana sekä välittömästi työn päätyttyä. (6, s. 36 – 37.)

Katselmus tulee tehdä sopivalla menetelmällä ja riittävällä tarkkuudella, jotta vahinkovastuu on mahdollista määritellä. Katselmus tulee tehdä aina huolellisesti ja ammattitaitoisesti. Katselmus antaa yleensä yleiskuvan katselmoitusta kohteesta, koska kaikkia vaurioita ei voi havaita yleisesti käytetyn tarkasteluetaisyysden eli 1,5 metrin päästä. Esimerkiksi betonirakenteet mitoitetaan yleensä siten, että halkeamat pysyisivät alle 0,3 mm:n suuruisina. Tällaisia halkeamia ei voi erottaa tavanomaisin katselmusmenetelmin. Tarvittaessa voidaan käyttää tarkempia menetelmiä. (6, s. 37.)

Katselmuksissa toimii vastuuhenkilönä tärinäasiantuntija. Vaativuusluokassa 2 vastuuhenkilöllä tulee olla vähintään a-luokan tärinäasiantuntijan pätevyys ja vaativuusluokassa 3 vastuuhenkilöllä tulee olla vähintään aa-luokan tärinäasiantuntijan pätevyys. Katselmus tulee järjestää siten, että katselmuskohteen omistajalla tai omistajan edustajalla sekä rakennustyön toteuttajalla on mahdollisuus osallistua katselmukseen. (6, s. 37.)

Katselmustoimituksesta laaditaan pöytäkirja sekä havaitut vauriot dokumentoidaan. Pöytäkirjasta pitää ilmetä ainakin katselmuksen tarkoitus, kohde, ajankohta, katselmukseen osallistujat ja heidän roolinsa sekä katselmuksen tulos ja tarvittaessa viittaus liitteisiin, jotka sisältävät yksityiskohtaisen tiedon havainnoista. (6, s. 37.)

Havaitut vauriot dokumentoidaan siten, että dokumenteista käy selvästi ilmi tehty havainto. Katselmuksessa vauriot voidaan dokumentoida piirtämällä. Piirtämismenetelmässä piirroksiin kuvataan käsivaraisesti esimerkiksi rakojen ja halkeamien symbolinen tai likimääräinen sijainti ja pituus. Piirros pohja voi olla rakennuspiirustus tai katselmusta varten laadittu lomake. Kuvaukseen tulee lisätä riittävästi merkintöjä ja selityksiä, esimerkiksi avautuman suuruus. Piirtämismenetelmää voidaan täydentää esimerkiksi valokuvaamalla vaurioita ja lisäämällä valokuvat piirrosten liitteiksi. Toisena katselmusmenetelmänä käytetään vaurioiden videokuvaamista. Menetelmässä kuvataan vauriot ja samalla myös vauriota

voidaan selostaa videolle. Vauriosta otetaan yleis- ja lähikuvia, jotta vaurion sijainti sekä suuruus käyvät videolta ilmi. (6, s. 37.)

Katselmusdokumenteista on tärkeää saada selkeä kuva katselmoidusta kohteesta ja katselmusdokumenteista tulee käydä havaittujen vaurioiden lisäksi ilmi muun muassa se, mikäli johonkin tilaan ei ole päästy tai jotain on ollut rakenteen edessä, jolloin rakenteen kuntoa ei ole päästy näkemään. Katselmuskohteesta on myös hyvä ottaa yleiskuvia sekä dokumentteihin tulee merkitä, jos jossain rakenteessa tai kohteessa ei ole havaittu vaurioita. Myös esimerkiksi katselmusajankohdan säästä ja näkyvyydestä tulee mainita, jos niillä voi olla merkitystä katselmustuloksiin. Dokumentteihin tulee myös mainita arvio suoritettun katselmuksen tarkkuudesta. (6, s. 37.)

Katselmusdokumenteja tulee säilyttää siten, että asiattomat eivät pääse niihin käsiksi. Dokumenteista voi jakaa kopiot kaikille osallisille tai tulee tiedottaa, missä katselmusdokumentit ovat tarkastettavissa. Mikäli katselmusdokumenteissa on käytetty lyhenteitä, niiden selitykset on käytävä ilmi dokumenteista. (6, s. 38.)

## 7 VAURIOTARKASTELUPIENTALOISSA

Opinnäytetyössä tehdyn vauriotarkastelun tarkoitus oli selvittää, kuinka paljon tyypillisessä suomalaisessa pientalossa on vaurioita ja halkeamia. Vauriotarkasteluun valittiin 40 pientaloa Pohjois-Suomen alueelta. Kiinteistöihin oli tehty kiinteistökatselmukset vuosina 2016 – 2018. Kaikki kiinteistökatselmukset oli tehty toukokuun ja heinäkuun välisenä aikana. Tutkitut rakennukset olivat pääsääntöisesti valmistuneet vuosina 1970 - 1990. Tutkimukseen valikoitui myös muutamia vanhempia rakennuksia 1950-luvulta.

Tutkimukseen valittuihin rakennuksiin oli tehty kiinteistökatselmukset ennen tärinää aiheuttavien töiden aloittamista. Kiinteistöjen lähellä ei myöskään ollut tärinää aiheuttavia toimintoja, kuten raideliikennettä tai kiviaineslouhimoita. Kiinteistökatselmuksessa havaittujen vaurioiden voidaan katsoa johtuvan muista syistä kuin tärinästä.

### 7.1 Vaurioiden tilastointi

Kiinteistökatselmuksissa todetut vauriot tilastoitiin rakenneosittain. Kiinteistökatselmuksien tuloksia tulkittaessa levysaumoissa, tiilisaumoissa ja materiaalirajapinnoissa olevat avautumat on käsitelty halkeamina. Samassa nurkassa tai materiaalirajapinnassa olevat avautumat on käsitelty yhtenä vauriona. Betonilaatoissa, palomureissa ja tulisijoissa esiintyvä verkkomainen halkeilu on käsitelty yhtenä vauriona per pinta. Vaurioiden vakavuusastetta tai suuruutta ei ole otettu tilastoinnissa huomioon vaan tutkimuksessa on selvitetty ainoastaan vaurioiden määrää. Taulukossa 5 on esitetty ne rakenneosat, joissa on havaittu vaurioita kiinteistökatselmuksissa.

TAULUKKO 5. Kiinteistökatselemissa havaitut rakenneosat, rakenneosien määrä sekä vaurioituneiden rakenneosien määrä

Rakenneosa	Kuinka monessa rakennuksessa rakenneosa on havaittu	Kuinka monessa rakenneosassa on havaittu vaurioita
Julkisivu, kalkkihiekkatiili	3	3
Julkisivu, poltettu tiili	16	16
Perusmuuri, betoni	37	36
Perusmuuri, harkko	8	8
Betonilattia	29	28
Laattalattia	36	11
Sisäkatto, levy	8	7
Sisäseinä, tiili	12	11
Sisäseinä, laatta	37	22
Sisäseinä, levy	40	39
Palomuuuri, tiili	21	19
Tulisija, tiili	13	8
Tulisija, vuolukivi	2	1
Ikkuna	40	10

Taulukossa 6 on tilastoitu kiinteistökatselemissa havaittujen vaurioiden kokonaismäärä rakenneosittain. Taulukossa on myös esitetty vaurioiden keskiarvo rakennusta kohden sekä myös havaittujen vaurioiden maksimimäärä rakennuksessa.



*TAULUKKO 6. Kiinteistökatselelmuksessa havaittujen vaurioiden määrä rakenneosittain*

Rakenneosa	Vaurioiden kokonaismäärä	Vaurioiden keskiarvo / rakennus	Vaurioiden maksimimäärä / rakennus
Julkisivu, kalkkihiekkatiili	105	35	47
Julkisivu, poltetu tiili	208	13	52
Perusmuuri, betoni	381	10	38
Perusmuuri, harkko	132	17	55
Betonilattia	147	5	12
Laattalattia	49	1	11
Sisäkatto, levy	28	4	9
Sisäseinä, tiili	31	3	8
Sisäseinä, laatta	94	3	20
Sisäseinä, levy	351	9	29
Palomuuuri, tiili	83	4	11
Tulisija, tiili	25	2	7
Tulisija, vuolukivi	3	2	3
Ikkuna	12	0	2

Taulukossa 7 on tilastoitu kiinteistökatselelmuksissa havaittujen vaurioiden kokonaismäärä. Taulukossa on myös vaurioiden keskiarvo rakennusta kohden sekä havaittujen vaurioiden maksimimäärä rakennuksessa.

*TAULUKKO 7. Kiinteistökatselelmuksessa havaittujen vaurioiden kokonaismäärä*

	Vaurioiden kokonaismäärä	Vaurioiden keskiarvo / rakennus	Vaurioiden maksimimäärä / rakennus
40 Rakennusta	1 649	41	129

## 7.2 Tilastojen tulkinta

Vauriotilastoinnin mukaan yleisimpiä vaurioita tutkituissa rakennuksissa keskiarvon perusteella mitattuina olivat julkisivumuurausten, perusmuurin ja sisälevytyksen vauriot. Kalkkihiekkatiilestä muuratuissa julkisivuissa oli keskiarvon perusteella mitattuna enemmän vaurioita kuin poltetusta tiilestä muuratuissa julkisivuissa. Vaurioiden maksimimäärän perusteella mitattuna eniten vaurioita löytyi kuitenkin poltetusta tiilestä tehdyssä julkisivusta. Rakennuksien ja rakenneosien

välillä oli paljon hajontaa vaurioiden määrässä. Hajonnan suuruutta kuvastaa erot vaurioiden keskiarvojen ja maksimimäärien välillä.

### 7.3 Yleisimmät vauriotyypit

Yleisimpiä vauriotyyppejä kiinteistökatselmusdokumenttien perusteella julkisivumuurauksissa olivat muurauksen aukkojen, kuten ikkunoiden ja ovien, kulmissa olevat halkeamat. Halkeamaherkkiä kohtia olivat myös perustuksien ja muurauksien korkeuden muutokset. Pitkien muurattujen seinien keskivaiheilla esiintyi myös halkeamia, jotka viittasivat liikuntasauvojen puutteeseen. Kuvassa 12 on esitetty tyypillinen halkeama julkisivumuurauksessa. Halkeama sijoittui pitkän muuratun seinän keskivaiheille.



*KUVA 12. Halkeama poltetuista tillistä muuratussa julkisivussa (7)*

Betonisissa perusmuureissa havaitut tyypillisimmät vauriotyypit olivat hakaterästen kohdalla olevia halkeamia tai lohkeamia betonin pinnassa. Vauriot johtuvat todennäköisesti liian pienestä raudotteiden suojaetäisyydestä. Rakennuksien kulmat havaittiin myös halkeamaherkiksi kohdiksi perusmuurien sekä julkisivumuurausten osalta. Perusmuurissa olevia halkeamia havaittiin myös kantavassa rungossa olevien leveiden aukkojen alapuolella. Kuvassa 13 on esitetty

pieni hiushalkeama betonisessa perusmuurissa. Kuvassa oleva vauriotyyppi oli myös yleinen tutkimukseen kuuluneissa rakennuksissa.



*KUVA 13. Betonisessa perusmuurissa oleva hiushalkeama (7)*

Sisälevytyksien halkeamat painottuivat erityisesti levytyksessä olevien aukkojen, kuten ikkunoiden ja ovien kohdalle. Kuvassa 14 on esitetty katselmuksissa esiintynyt tyypillinen sisälevytyksen saumakohdassa oleva halkeama. Halkeama sijaitsi väliseinässä oven päällä. Myös sisälevytyksien nurkissa havaittiin halkeamia. Sisälevytyksien halkeamilla tarkoitetaan levyjen saumakohdissa eli materiaalirajapinnoissa olevia avautumia. Katselmoiduissa rakennuksissa sisälevytykset oli tehty lastu- ja kipsilevyllä. Tutkimuksessa tehtyjen havaintojen perusteella lastulevyseinissä todettiin enemmän halkeamia kuin kipsilevyseinissä.



*KUVA 14. Sisälevytyksen saumakohdassa oleva halkeama (7)*

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää tärinää aiheuttavien töiden vaikutusta rakennuksiin sekä tehdä vauriotarkastelu 40 tyypilliseen suomalaiseen pientaloon. Vauriotarkastelussa havaitut vauriot oli tarkoitus tilastoida rakennuksittain ja rakennusosittain. Tilastoinnista oli tarkoitus saada tietoon tyypillisissä suomalaisissa pientaloissa olevien luonnostaan syntyneiden vaurioiden määrä sekä niiden jakautuminen eri rakenneosien välillä.

Kalliossa etenevän merkittävän tärinän ainoana lähteenä, pois lukien maanjäristykset, voidaan pitää vain räjäytystöitä. Sen sijaan maaperässä syntyvien ja etenevien tärinöiden lähteet ovat moninaisemmat. Tärinää maaperään voivat aiheuttaa esimerkiksi paalutus, maankaivu ja liikenne. Maantärinät ovat maanpinnan aaltoliikettä. Räjäytyksen aiheuttamista aaltoliikkeistä nopein on shokkiaalto. Se tiivistää ja rikkoo kalliota. Etenemisnopeuden hidastuessa shokkiaalto muuttuu plastiseksi aalloksi ja aiheuttaa kallioon vain plastisia muutoksia. Plastinen aalto muuttuu vaimentuessaan kimmoaalloksi, jolloin kallioon ei aiheudu pysyviä muutoksia.

Tärinästä aiheutunut rakenteen vaurioituminen voi johtua venymästä, repeämästä tai taipumisesta. Vahingollisin tärinä rakennuksien kannalta on matalataajuisista, noin 4 – 20 Hz:n jaksolukualueella vaikuttavaa tärinää, koska tämä jaksolukualue on lähellä rakennuksien ominaistaajuuksia. Jos tärinän taajuus on sama kuin rakennuksen ominaisvärähtelyaika, syntyy seisova aaltoliike, jolloin rakennus resonoi. Tällöin pienikin tärinä vahvistuu ja tärinävaurioiden syntyminen riski kasvaa. Rakennuksiin syntyy halkeamia myös luonnostaan ilman selkeää ulkoista syytä. Halkeamia voi syntyä esimerkiksi lämpötilan vaihteluista, rakennemateriaalin kemiallisista muutoksista ja rakennusvirheistä johtuen. Pienimmillään halkeamat ovat erilaisissa saumoissa ja nurkissa esiintyviä hiushalkeamia ja vakavimmillaan kantavissa rakenteissa esiintyviä vaurioita.

Tärinäraja-arvot ovat erilaisia eri maissa johtuen muun muassa rakentamistapojen erilaisuudesta ja kallion laadusta. Peruskalliomaissa, kuten Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa, rakennuksiin kohdistuva tärinä on varsinkin lähietäisyyksillä

korkeataajuista. Yleensä tärinää mitataan kantavasta rakenteesta mahdollisimman läheltä rakennuksen perustaa. Suomessa tärinälle on esitetty ohjearvoja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisemassa ohjeessa ”RIL 253-2010 Rakentamisen aiheuttamat tärinät”. Ohje selventää Suomen rakentamismääräyskokoelman B3 ja Eurokoodin 1997-1 ja sen kansallisen liitteen käyttöä tärinän huomioon ottamisessa rakennushankkeissa. Tärinän ohjearvo määräytyy useimmissa tapauksissa rakennustapakertoimen ja heilahdusnopeuden perusarvon perusteella.

Tärinää aiheuttaviin töihin tulee sisällyttää ympäristön rakennuksien ja muiden kohteiden katselmukset ennen tärinää aiheuttavien töiden aloittamista. Katselmuksien vastuuhenkilönä toimii tärinäasiantuntija. Katselmuksia tehdään, jotta voidaan erottaa rakennustyöstä aiheutuneet vauriot jo aikaisemmin syntyneistä vaurioista. Katselmuksen tekijän tulisi olla sama ennako- ja jälkikatselmuksessa. Mahdollisten työstä aiheutuvien vahinkojen määrittämiseksi katselmus tehdään juuri ennen työn aloitusta, tarvittaessa työn aikana sekä välittömästi työn päätyttyä. Jos rakennustyö aiheuttaa vaurioita läheisiin rakennuksiin, vauriot tulee korvata.

Katselmuksissa havaitut vauriot dokumentoidaan siten, että dokumenteista käy selvästi ilmi tehty havainto. Dokumentointitapoja on kaksi erilaista. Ensimmäisessä tavassa vauriot dokumentoidaan piirtämällä, jolloin piirroksiin kuvataan käsisivarisesti esimerkiksi rakojen ja halkeamien symbolinen tai likimääräinen sijainti ja pituus. Tarvittaessa piirtämismenetelmää voi täydentää valokuvilla. Piirros pohjana on joko rakennuspiirustus tai katselmusta varten laadittu lomake.

Toisena katselmusmenetelmänä on videokuvaus. Siinä vauriot videoidaan ja vaurioita voidaan myös selostaa videolle. Vauriosta tulee ottaa sekä yleis- että lähikuvia, jotta vaurion sijainti ja suuruus käyvät videolta ilmi. Videokuvaus antaa yksityiskohtaisemman kuvan dokumentoidusta vauriosta kuin piirtäminen, mutta videolle päätyy myös katselmuksen kannalta epäolennaisia asioita, kuten henkilökohtaisia valokuvia ja tauluja, katselmuskohteesta. Videokuvauksen ongelmana on siis yksilön tietosuoja, koska kuvatessa asukkaan omaisuutta päätyy videolle. Tällöin katselmusdokumenttien arkistointi tulee hoitaa siten, että asiatomat eivät pääse siihen käsiksi.

Instaro Oy:n tilaamana tehtiin vauriotarkastelu 40 tyypilliseen suomalaiseen pientaloon tavoitteena selvittää niissä olevien vaurioiden ja halkeamien määrä. Vauriot tilastoitiin rakenneosittain. Vauriostatistoinnin perusteella yleisimpiä vaurioita tutkituissa rakennuksissa olivat julkisivumuurauksen, perusmuurin ja sisäleivytyksen vauriot. Rakennuksien ja rakenneosien välillä oli paljon hajontaa vaurioiden määrässä. Halkeamaherkiksi kohdiksi havaittiin muun muassa sisäleivytyksen ja muurauksen aukkojen, kuten ikkunoiden ja ovien kulmat ja perustuksien ja muurausten korkeuden muutokset.

Tutkimuksessa tehdyt havainnot rakennuksien vaurioitumisesta ja vaurioiden tyypeistä ovat samankaltaisia kuin vastaavissa tutkimuksissa tehdyt havainnot. Eri tutkimuksien vauriomääriä on mahdotonta vertailla luotettavasti, koska vauriomääriin vaikuttaa paljon tutkijan tulkinta vauriosta. Toisessa tutkimuksessa on saatettu määritellä, että tietyntyyliset vauriot lasketaan yhdeksi vaurioiksi, kun taas toisessa tutkimuksessa samainen vaurio on voitu tulkita useaksi erilliseksi vaurioiksi.

Kalliorakentaminen 2000 teknologiahankkeen tutkimuksessa tutkittiin 40 pientalon vauriokehitystä noin 3 vuoden ajan. Tutkimukseen valituissa pientaloissa tehtiin kiinteistökatselemukset 7 kertaa 3 vuoden aikana. Tutkimuksessa havaittujen vaurioiden kokonaismäärä 40 pientalossa oli noin 2 560 kappaletta. Rakennusta kohden vaurioita oli siis noin 64 kappaletta. Tutkimuksessa eri katselmuskertojen välillä laajentuneet vauriot on tulkittu uusiksi vaurioiksi, joka hiukan nostaa vaurioiden kokonaismäärää tässä opinnäytetyössä tehtyyn tutkimukseen nähden. Opinnäytetyössä rakennusta kohden vaurioita havaittiin olevan 41 kappaletta. Vaurioiden määrät ovat kuitenkin likimain samaa luokkaa tutkimuksien välillä, joten tästä voidaan olettaa, että tutkimuksessa sekä Instaro Oy:n katselmustoimissa on onnistuttu hyvin.

## LÄHTEET

1. Pöllä, Jukka – Kärnä, Tuomo – Vuolio, Raimo – Paavola, Pertti – Räsänen, Heikki 1996. Louhintatärinän syntyminen ja välittyminen sekä rakenteiden ja laitteiden tärinäkestävyys. Tutkimusraportti. Kalliorakentaminen 2000 teknologiahanke, projekti 3.7. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto (RIL): Teknologian kehittämiskeskus (TEKES).
2. Vuolio, Raimo – Halonen, Tommi 2012. Räjätystyöt. 2. painos. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.
3. U.S. Geological Survey. Yhdysvaltain geologian tutkimuskeskus. Saatavissa: <https://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=Rayleigh%20wave>. Hakupäivä 2.10.2018.
4. Wall, J. F. 1966. Seismic Induced Architectural Damage to Masonry Structures at Mercury, Nevada. California: University of California, Lawrence Radiation Laboratory. Saatavissa: <https://www.osti.gov/servlets/purl/453728>. Hakupäivä 25.10.2018.
5. Vuolio, Raimo – Halonen, Tommi 2017. Räjätysopas. Helsinki: Rakennustieto Oy.
6. Hakulinen, Matti – Vuento, Aimo 2010. RIL 253-2010 Rakentamisen aiheuttamat tärinät. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
7. Valokuvia Instaro Oy:n arkistosta.