



# Louhinnasta aiheutuvat tärinät taajama-alueilla

Suunnittelu, ennakkokatselmointi ja tärinämittaukset

Pekka Koivunen

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2021

Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma  
Infrarakentaminen

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma  
Infrarakentaminen

KOIVUNEN, PEKKA:

Louhinnasta aiheutuvat värinat taajama-alueilla  
Suunnittelu, ennakkokatselmointi ja värinämittaukset

Opinnäytetyö 51 sivua, joista liitteitä 6 sivua  
Toukokuu 2021

---

Opinnäytetyössä käsiteltiin louhintatyön aiheuttamaa värinää maankamarassa ja kallioperässä sekä perehdyttiin erityisesti taajama-alueella tapahtuvaan louhintatyöhön. Työn tarkoituksena oli oppia perusteita maankamaran dynamiikasta sekä värinän vaikutuksista rakenteisiin. Työssä käytiin myös lyhyesti läpi louhinnan suunnitteluun ja toteutukseen liittyvät tehtävät työnjohtajan näkökulmasta. Työssä ei käsitelty tarkemmin louhintatyön ilmaan synnyttämiä paineaaltoja, joten asia huomioitiin opinnäytetyössä vain lyhyesti.

Opinnäytetyön työmaaosiossa tarkasteltiin suunnittelua, toteutusta ja värinämitaustuloksia Hakaniemen kauppahallin louhintatöiden osalta. Työssä pohditaan kallioperän rikkonaisuuden ja topologian aiheuttamia riskejä hankkeen tulevissa louhintatöissä.

Värinämittausten tuloksia tulkitsemalla saatiin epäsuoria tuloksia kallioperän topologiasta ja kiinteydestä. Värinämittauksia voidaankin hyödyntää tiiviisti rakennetussa kaupunkiympäristössä, missä geologisia tutkimuksia poraamalla on hankala toteuttaa.

---

Asiasanat: louhinta, kallioperä, värinä, taajama-alue,

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Program in Construction Management  
Infrastructure construction

**AUTHOR:**  
Blasting Work Vibrations in Agglomerations

Bachelor's thesis 51 pages, appendices 6 pages  
May 2021

---

The thesis dealt with the vibrations caused by blasting work in the earth's crust and bedrock and became acquainted with blasting work in urban areas in particular. The purpose of the work was to learn the basics of the dynamics of the earth's crust and the effects of vibrations on structures. The work also briefly reviewed the tasks related to the planning and implementation of blasting from the supervisor's point of view. The pressure waves generated by the blasting work in the air were not discussed in more detail in the work, but the issue was only briefly considered in the thesis.

In the construction site section of the thesis the design implementation and vibration measurement results for the blasting work at Hakaniemi marketplace examined. The work considers the risks caused by bedrock fracture and topology in the future blasting work of the project.

Interpretation of the results of vibration measurements yielded indirect results in the bedrock topology and solidity. Vibration measurements can therefore be utilized in a tightly built urban environment, where geological surveys are difficult to carry out by drilling.

---

Key words: blasting, bedrock, vibration, agglomeration,

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	10
2	TEORIAA LOUHINNAN AIHEUTTAMASTA TÄRINÄSTÄ .....	11
	2.1 Tärinä fysikaalisena ilmiönä .....	11
	2.1.1 Aaltoliike .....	12
	2.1.2 Louhinnan aiheuttamat aaltotyypit kallioperässä .....	14
	2.2 Louhinnan aiheuttama tärinä maankamarassa .....	16
	2.2.1 Räjähdykset ja panostaminen .....	17
	2.2.2 Heijastuminen.....	18
	2.2.3 Interferenssi.....	19
	2.2.4 Vaimeneminen.....	19
3	LOUHINNAN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS .....	20
	3.1 Ympäristöselvitys ja riskianalyysi .....	22
	3.1.1 Riskien arviointi .....	23
	3.1.2 Vaikutusalueen arviointi.....	23
	3.1.3 Kiinteistökatselemukset ja tiedottaminen.....	28
	3.2 Louhintatöiden aloitus ja työnaikainen seuranta .....	30
	3.2.1 Panostajan luvat, pätevyudet, ilmoitukset ja suunnitelmat..	31
	3.2.2 Työnaikainen seuranta ja loppukatselmuksset.....	32
4	HAKANIEMEN KAUPPAHALLI.....	34
	4.1 Alueen geologiset olosuhteet ja hankkeen louhinnat .....	34
	4.1.1 Suunnittelu ja toimenpiteet ennen louhinnan aloitusta.....	36
	4.1.2 Kiinteistökatselemukset ja tärinämittarien sijoituspaikat .....	37
	4.1.3 Louhinta- ja panostussuunnitelma .....	38
	4.2 Seuranta ja toteutus .....	39
	4.2.1 Reklamaatiot .....	40
	4.2.2 Työntuloksien tarkastelu.....	41
5	YHTEENVETO .....	43
	LÄHTEET.....	45
	LIITTEET .....	46
	Liite 1. Työmaan aluesuunnitelma: STARA .....	46
	Liite 2. Helsingin keskustan kallioruhjeet: GEO julkaisu 89/2005.....	47
	Liite 3. Vaikutusalue ja tärinämittareiden sijainnit: Dragon Oy .....	48
	Liite 4. Panostus- ja sytytyskaavio nro. 51: Raivausliike Nikko Oy .....	49
	Liite 5. Mittausraportti nro.51: Forcit Consulting Oy (1/2).....	50
	Liite 5. Mittausraportti nro.51: Forcit Consulting Oy (2/2).....	51

## MÄÄRITELMÄT

Amplitudi	Tärinän mittaussuure siirtymän, heilahdusnopeuden tai kiihtyvyyden suhteen.	
Ankara vastuu	Ankara vastuu eli objektiivinen vastuu tarkoittaa, että henkilö tai oikeushenkilö on vastuussa vahingosta, jota kukaan ei ole aiheuttanut tahallaan tai huolimattomuudellaan. Usein kyseessä on luvanvarainen toiminta, jossa on läsnä tavallista suurempi vahinkoriski (wikipedia).	
Doomi	Kallioperään muodostunut pyöreä tai ellipsinmuotoinen ympäristöään ylemmäksi kohonnut kupolimainen geologinen rakenne, joka on syntynyt, kun ympäristöään kevyempi aine on kohonnut muuta kallioperää korkeammalle.	
Huippuarvo	Värähtelynsuureen itseisarvon maksimi aikatasossa.	
Halkeamat	Hiushalkeama (H)	alle 0,5 mm
	Pienihalkeama (F)	0,5–1,0 mm
	Keskikokoinen halkeama (M)	1,0–2,0 mm
	Iso halkeama (G)	2,0–4,0 mm
	Suuri halkeama (S)	yli 4,0 mm
Tehollisarvo	Suureenhetkellisarvojen neliöiden keskiarvon neliöjuuri. Sinimuotoisen suureen tehollisarvo on $1/\sqrt{2}$ kertaa huippuarvo.	
Kallioperä	Eri kivilajeista koostuva maankuoren ylin osa.	
Kallioruhje	Kallioperän lineaarisesti rikkoutunut rakenne.	

Kitkamaa	Luonnon hiekka-, moreeni- ja sorakerrostumat, joiden leikkauslujuuteen vaikuttavat hiekan ja soran osalta lähinnä rakeiden välinen kitka ja moreenissa lisäksi koheesio.
Koheesiomaa	Luonnontilaiset savikerrostumat, joiden leikkauslujuuteen vaikuttaa lähinnä rakeiden välinen koheesio. Siltti on välimaalaji. Siltin leikkauslujuuteen vaikuttavat sekä kitka että koheesio.
Maankamara	Kallion ja maakerrostumien muodostama kokonaisuus.
Maarakenne	Tiivistetty maa- tai maarakennekerros, vaihdettu ja tiivistetty maarakennekerros (massanvaihto) tai vahvistettu maa- tai maarakennekerros (pohjanvahvistus).
Ominaisvärähtely	Kun rakennetta poikkeutetaan esimerkiksi iskulla, se jää värähtelemään ominaistaajuudellaan. Rakenteella on yleensä useita ominaistaajuuksia, joista alimmat ovat yleensä tärinän käsittelyssä merkityksellisempiä.
Perustus	Kantava rakenne, joka välittää ylärakenteiden kuormat maankamaraan.
PIMA	Pilaantunut maa
Pohjarakennustyö	Käsittää rakennuksen ja rakenteiden perustusten ja maanpinnan alapuolistentilojen rakentamiseksi tarvittavat kaivu-, louhinta-, tuenta-, kuivanapito-, tiivistys- ja lujitustyöt sekä muut pysyvien pohjarakenteiden rakennustyöt.
Rakenne	Rakenne voi olla kantava tai ei kantava.

Rakennesysteemi	Kantavien rakenneosien muodostama kokonaisuus, jonka toiminta värähtelytilanteessa riippuu dynaamisesta kuormituksesta, massasta, jäykkyydestä ja vaimennuksesta.
Resonanssi	Resonanssissa dynaamisen kuormituksen taajuus on samalla alueella rakenteen ominaistajuuden kanssa, jolloin rakenteen värähtely kasvaa merkittävästi.
Resultantti	Värähtelysuureen komponenttien vektorisumma.
Runkoääni	Matalataajuisen rakenteen tai muun kiinteän aineen, kuten kallion, värähtelyn siirtyminen ilmaan aistittavaksi ääneksi.
Rusnaus	Kallioperässä löyhästi kiinni olevien lohcareiden irrottaminen ja muun rikkoutuneen aineksen poistaminen kallopinnoista.
Siirtokerroin	Kuvaa ylärakenteiden tai perustusten värähtelyiden tai tärinän voimakkuutta verrattuna perustuksista tai maankamarasta siirtyvän tärinän voimakkuuteen. Siirtokerroin kuvaa tärinän vahvistumista tai heikentymistä.
Taajama-alue	Taajamaksi määritellään kaikki vähintään 200 asukkaan rakennusryhmät, joissa rakennusten välinen etäisyys ei yleensä ole 200 metriä suurempi. Taajamien rajauksissa otetaan huomioon asuinrakennusten lisäksi mm. liike-, toimisto- ym. työpaikkoina käytettävät rakennukset. Hallinnollisilla aluejaoilla ei ole vaikutusta taajamien muodostamiseen (wikipedia).
Täkkäys/peittäminen	Räjäytyskentän suojaus peitematoilla louheen sinkoamisen estämiseksi.

Tärinä	<p>Rakentamisen aiheuttama maankamaran värähtely, joka voidaan jakaa seuraaviin osiin:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- havaittavissa oleva tärinä, jossa heilahdusnopeuden huippuarvo noin 0,05...0,15 mm/s</li><li>- häiritsevä tärinä, jossa heilahdusnopeuden huippuarvo ylittää 0,40...0,80 mm/s</li><li>- toimintoja haittaava tärinä, joka vaikuttaa esimerkiksi tärinälle herkkien laitteiden toimintaan</li><li>- vaurioita aiheuttava tärinä, joka alentaa pysyvästi rakenteiden, laitteiden tai luonnonympäristön käyttökelpoisuutta</li></ul>
Jatkuva tärinä	<p>Dynaamisen kuormituksen maankamaraan synnyttämä tärinä, joka kestää lähes samanlaisena useita sekunteja.</p>
Iskumainen tärinä	<p>Iskumaisen dynaamisen kuormituksen aiheuttama tärinä maankamarassa. Kuormitus ei toistu tai toistuu vasta usean sekunnin kuluttua niin, että yksittäisen tärinäkuormituksen vaikutus loppuu ennen seuraavaa iskua. Iskumainen tärinä kuormitus voi olla myös toistuvaa, jolloin kuormitus toistuu yleensä useita kertoja sekunnissa (esim. hydraulivasara) tämä saattaa aiheuttaa erillisten kuormitusten tärinöiden yhteisvaikutuksen, kuten rakenteiden resonanssin.</p>
Tärinäneristys	<p>Rakentamisen aiheuttaman maankamaran tärinän vähentäminen teknisin keinoin maassa, perustuksissa ja ylärakenteissa.</p>
Tärinän lähialue	<p>Tärinän syntymisen lähialue, jonka ulkorajalla kuormituksen aikaansaamat runkoaallot (puristus- ja leikkausaallot) ovat kehittyneet pinta-aalloiksi (R-aalto).</p>



Tärinän ohjearvo	Rakenteen, tavallisesti perustusten, laitteiden tai maan-kamaran tärinän tai värähtelyn suuruuden arvo, joka on pienempi kuin se värähtely tai tärinä, joka aikaansaa vahinkoa. Ohjearvoja tarkasteltaessa myös ylärakenteiden värähtelyä nimitetään tärinäksi.
Tärinävaurio	Rakentamisen aiheuttaman värähtelyn tai tärinän vaikutus, joka aiheuttaa rakenteiden tai laitteiden käyttökelpoisuuteen vaikuttavan pysyvän muutoksen.
Vahinko	Rakentamisen aiheuttaman värähtelyn tai tärinän vaikutus, joka alentaa rakenteiden, laitteiden, toimintojen tai ympäristön käyttökelpoisuutta.
Värähtely	Rakenteiden värähtely, joka saattaa aiheuttaa vahinkoa tai epämukavuutta.
Ylärakenne	Perustusten yläpuolella oleva rakenneosa
Ääni	Ilman värähtely, joka on korvin kuultavissa.

## 1 JOHDANTO

Taajama-alueilla tehtävä louhintatyö on aina vaativa hankekokonaisuus. Varsinkin tiheästi rakennetuissa ympäristöissä, kuten suurien kaupunkien keskustoissa olemassa olevat rakenteet asettavat rajoituksia louhintatyön toteutukseen. Louhintatyö tulisi kuitenkin pyrkiä suorittamaan kustannustehokkaasti ja turvallisesti, jonka vuoksi suunnittelu tulee tehdä erittäin huolellisesti. Louhintatyöt voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen, jotka ovat avolouhinta, maanalainen louhinta ja veden alla tapahtuva louhinta.

Riskeinä louhinnassa ovat esimerkiksi epäonnistunut ja väärin mitoitettu panostus. Tämä saattaa aiheuttaa kivenheittoja, paineaaltoja ilmassa, tärinää maankamaraassa, henkilövahinkoja tai pysyviä vaurioita rakenteissa.

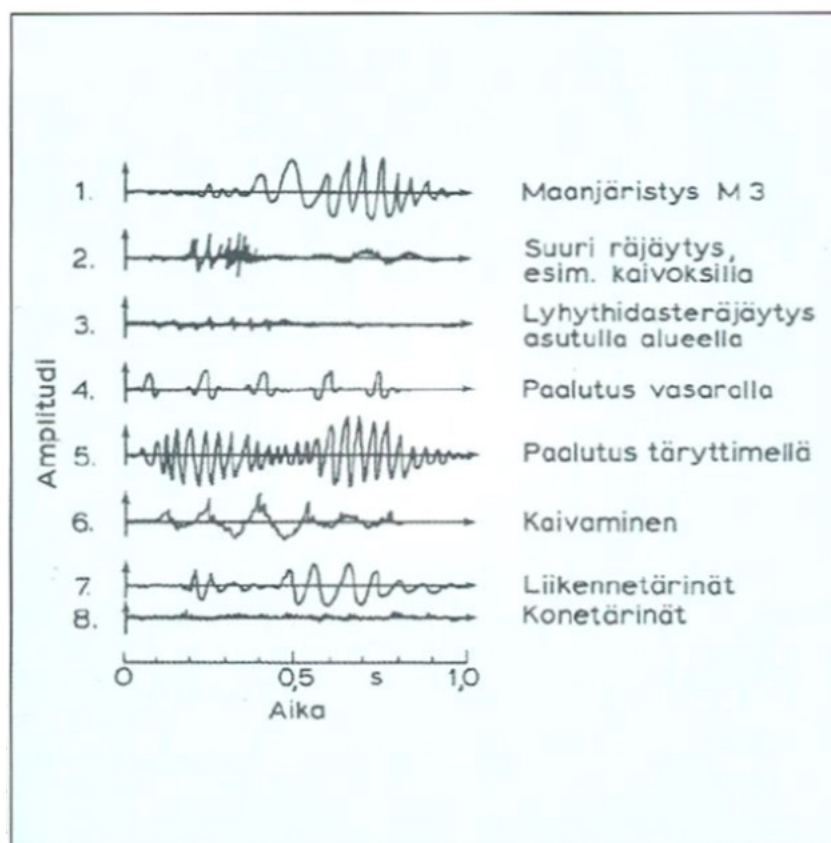
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä työmaan henkilöstölle yleinen helppolukuinen esitys louhinnan vaikutuksesta maankamaraan sekä louhintatärinän mahdollisesti aiheuttamista vaurioista ympäröiviin rakenteisiin ja laitteisiin. Työssä pyrittiin myös välttämään raskaiden kaavojen käyttöä, jotta työ säilyisi helppolukuisena.

Oheislukemistona työssä käytettiin RIL 253-2010: Rakentamisen aiheuttamat tärinät sekä R. Vuolio & T. Halonen: Räjätystyöt 2010 kirjoja, joista löytyy tarkempia ohjeistuksia ja kaavoja louhintatöiden tärinöiden hallintaan.

## 2 TEORIAA LOUHINNAN AIHEUTTAMASTA TÄRINÄSTÄ

### 2.1 Tärinä fysikaalisena ilmiönä

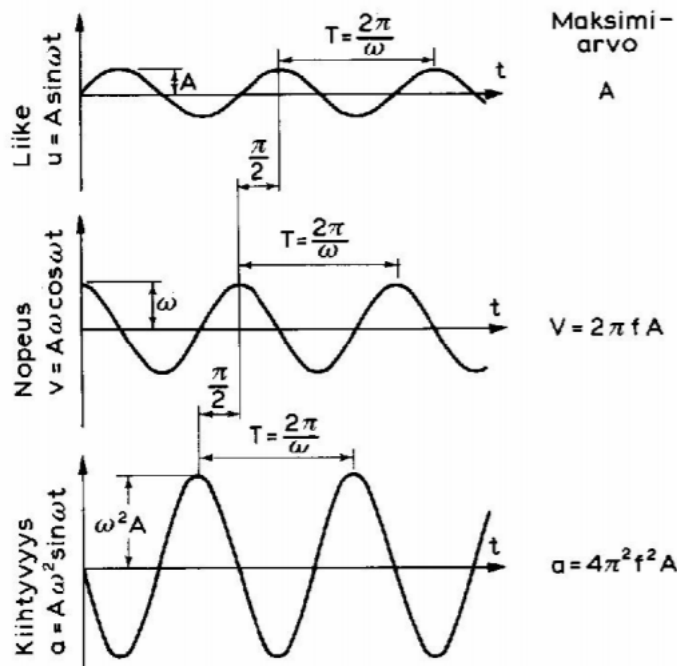
Työmaan eri toiminnoista aiheutuneet tärinät käsitetään maanpinnan aaltoliik-  
keeksi, joka aiheutuu seismisten aaltojen etenemisestä. Erilaisia seismisiä aal-  
toja voivat aiheuttaa esimerkiksi maanjäristykset, räjäytykset, paalutus, liikenne  
ja erilaiset koneet (kuva 1). Tärinä voidaan jaotella jatkuvaan-, iskumaiseen- ja  
toistuvaan iskumaiseen tärinään. Maankamarassa edetessään tärinä siirtyy ra-  
kenteisiin aiheuttaen rakennuksissa runkomelua sekä mahdollisia vaurioita ra-  
kenteissa (Vuolio & Halonen).



KUVA 1. Erilaisia tärinälähteitä (Vuolio & Halonen 2010, 299.)

### 2.1.1 Aaltoliike

Maankamaran tärinää käsitellään aaltoliikkeenä, joka aiheutuu seismisten aaltojen etenemisestä. Louhintätärinä on mekaanisesti etenevä aaltoliike, jossa maankamaran aineiden rakennehiukkasten vuorovaikutukset siirtävät energiaa. Tärinän aiheuttamaa heilahdusliikettä kuvataan harmonisena heilahduksena (kuva 2). Kaavasta (1) matemaattisesti derivoimalla saamme heilahdusnopeuden kaavan (2) ja siitä edelleen derivoimalla saamme kaavat (3 ja 4) kiihtyvyydelle. Louhinnan maankamaraan aiheuttaman tärinän tarkkailussa käytetään yleensä kaavoja (2, 3 ja 4). Huomioitavaa on, että luonnossa heilahdusliike ei noudata juuri koskaan harmonisen heilahduksen muotoa, mutta sitä voidaan käyttää käytännön vaatimissa tarkkuuksissa.



KUVA 2. Harmoninen heilahdusliike (Vuolio & Halonen 2010, 299.)

$$u = A \sin \omega t \quad (1)$$

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

$$a = 4 \pi^2 f^2 A \quad (3)$$

$$a = 2 \pi f v \quad (4)$$

$u$  = poikkeama hetkellä  $\omega T$

$\omega$  = kulmanopeus, kulmataajuus ( $rad/s$ )

$T$  = heilahdusaika, värähtelyjakso  $1/f$  ( $s$ )

$v$  = heilahdusnopeus ( $mm/s$ )

$A$  = Siirtymän heilahdusamplitudi ( $mm$ )

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

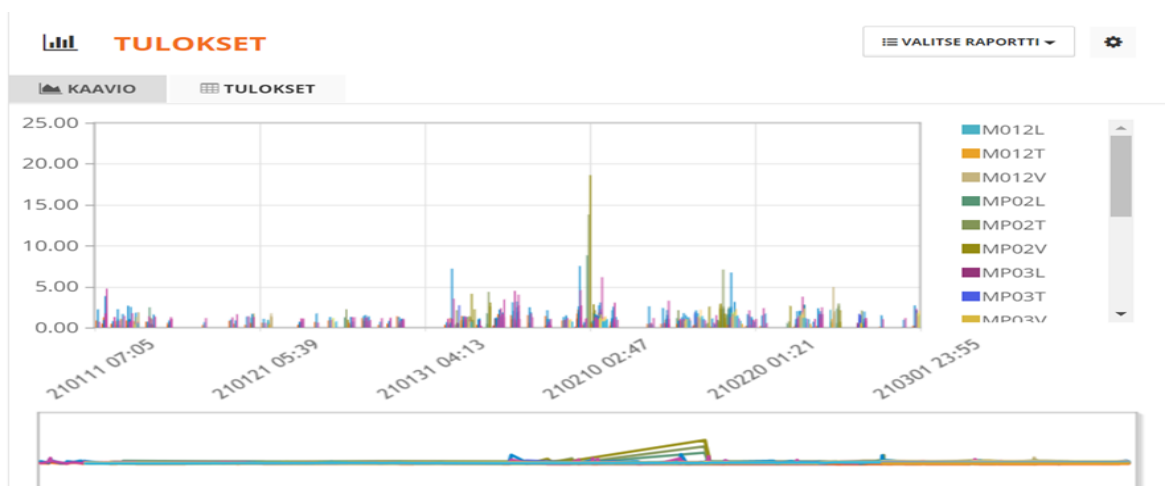
$a$  = kiihtyvyys ( $m/s^2$ )

Aaltoliikkeen etenemisnopeus voidaan määrittää kaavan (5) mukaan. Kyseinen kaava on aaltoliikkeen perusyhtälö ja sitä noudattavat lähes kaikki aaltoliikkeet.

$$v = \lambda/T = f \lambda \quad (5)$$

$\lambda$  = aallonpituus (*metri*)

Louhinnasta aiheutuva värinäaalto luokitellaan satunnaisesti yhden tai useamman kerran toistuvaksi tapahtumaksi. Esitystapana värinäseurannassa käytetään esimerkiksi aikahistoriakäyrää (kuva 3), jossa iskuista johtuva amplitudin muutos näkyy aikajanalla.

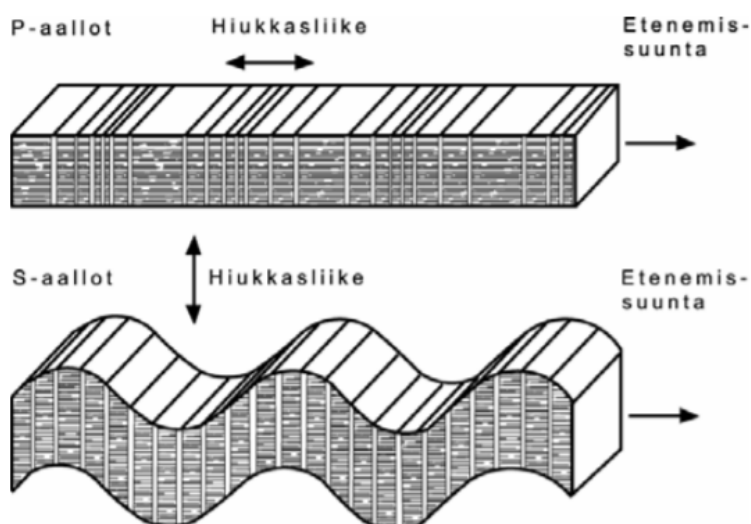


KUVA 3. Värinämittarien seuranta 11.1.-1.3.2021: Forciti Consulting Oy (Hakanien kauppahallin perusparannushanke 2021.)

## 2.1.2 Louhinnan aiheuttamat aaltotyypit kallioperässä

Louhintaräjähdyksessä porareikään syntyy lyhytaikainen ja voimakas paineaalto, joka saa aikaan kalliosta vastareaktioita. Tämä aiheuttaa aineen tiivistymistä ja pienen alueen murskautumista. Loppuosa paineaallon voimasta jatkaa etenemistä aineessa shokkiaaltona, jonka energia on keskittynyt ohueen pallomaiseen kuoreen. Shokkiaallon vaikutusaika on noin 0,2 mikrosekuntia ja vaikutusvyöhyke noin yhden senttimetrin paksuinen. Shokkiaalto on nopein räjähdysten aiheuttamista aaltoliikkeistä. Edetessään shokkiaalto tiivistää ja rikkoo kalliota, jolloin sen energiaa häviää ja etenemisnopeus pienenee muuttuen plastiseksi aalloksi. Plastiset aallot kalliosta aiheuttavat vain merkityksettömiä plastisia muutoksia. Kun aallon voimakkuus on vaimentunut pisteeseen, jossa väliaineessa ei synny enää pysyviä muutoksia, aalto muuttuu kimmoaalloksi. Kimmoaallot jakautuvat kahden päätyyppiin, runko- ja pinta-aaltoihin. (Vuolio & Halonen).

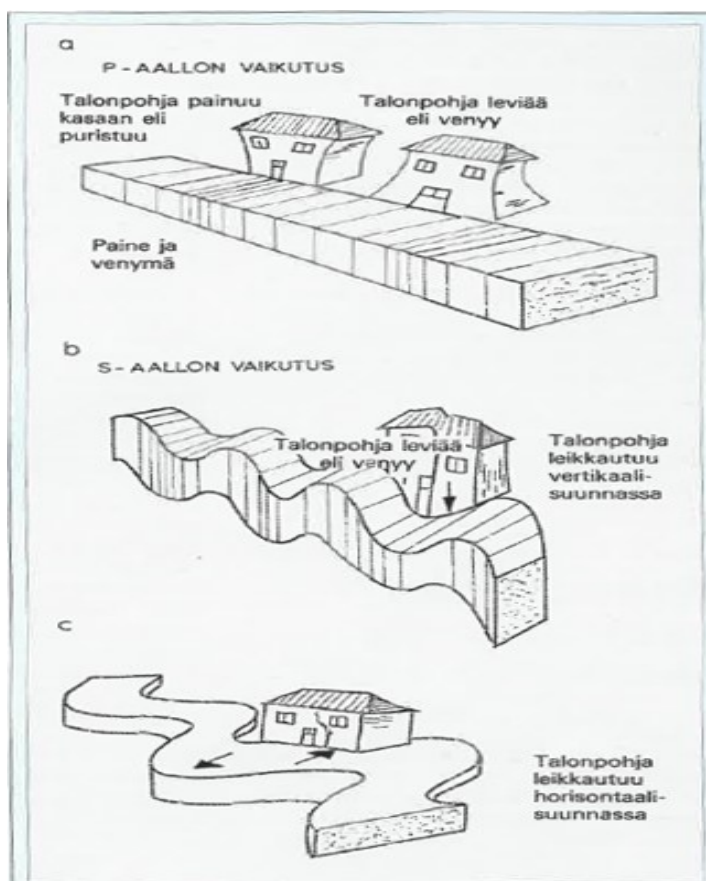
Runkoaalloista tunnetuimmat ovat puristusaalto (P-aalto) ja leikkausaalto (S-aalto). Puristusaalloissa liike tapahtuu pitkittäisesti ja leikkausaalloissa liike on poikittais- ja pystysuuntainen (kuva 4). Huomioitava on, että leikkausaalto (S-aalto) ei etene nesteissä ja kaasuissa.



KUVA 4. Runkoaallot elastisena aaltoliikkeenä (Vuolio & Halonen 2010, 299.)

Teoriassa pistemäisen panoksen räjähtäminen aiheuttaa väliaineessa joka suuntaan tasaisen puristuksen synnyttäen vain puristusaallon. Käytännössä räjähdyspanos on yleensä sylinterinmuotoinen, jolloin räjäytyksessä syntyy aina myös leikkausaaltoja.

Periaatekuvassa (kuva 5) havainnollistetaan runkoaaltojen vaikutusta rakennuksiin. Kuvassa liikettä on vahvasti liioiteltu.



KUVA 5. Runkoaallot elastisena aaltoliikkeenä (Vuolio & Halonen 2010, 301.)

Pinta-aalloista tunnetuimmat ovat Rayleigh-aalto (R-aalto) ja Love-aalto (Q-aalto). Rayleigh-aalto (R-aalto) syntyy, kun runkoaalto etenee maanpintaan ja taipuu. Love-aalto (Q-aalto) etenee siirtämällä materiaalia etenemissuuntaansa nähden poikittaisessa suunnassa. Pinta-aaltojen amplitudi vaimenee syvemälle mentäessä. Muita pinta-aaltoja ovat Stoneley-aalto, joka syntyy kahden erilaisen materiaalin rajapinnassa sekä isoissa räjäytyksissä syntyvä H-aalto. Käytännön tärinämittauksissa tutkitaan puristusaaltoja (P-aalto), leikkausaaltoja (S-aalto) ja Rayleigh-aaltoja (R-aalto).

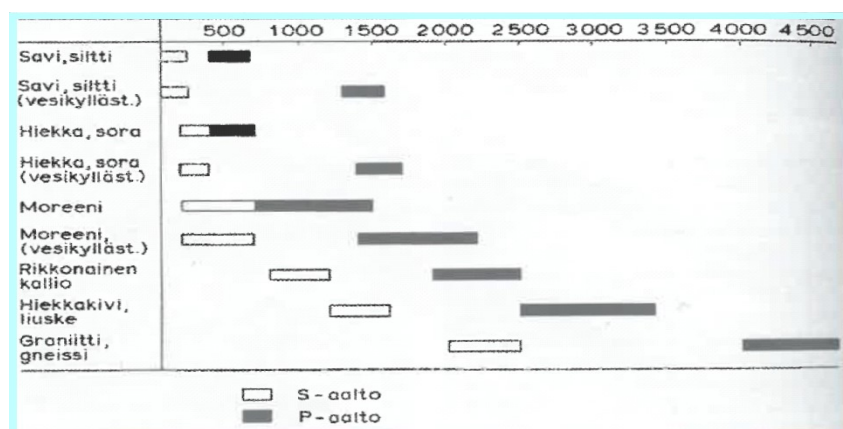
Puristusaaltojen (P-aalto) etenemisnopeus on näistä kolmesta suurin. Leikkausaallot (S-aalto) etenevät nopeudella, jonka suhde puristusaaltoihin (P-aalto) ilmaistaan usein lukuarvona 0,577. Tämä arvo pitää paikkansa vain kiinteässä kalliassa. Esimerkiksi soramaassa kyseinen suhde on noin 0,45. Rayleigh-aaltojen (R-aalto) nopeus on korkeintaan 0,9 kertaa leikkausaaltojen (S-aalto) nopeus (Vuolio & Halonen 2010, 299). Louhintaräjähdytyksessä energia jakautuu aaltojen välillä taulukon 1 mukaisesti.

TAULUKKO 1. Energian jakautuminen aaltojen välillä (Vuolio & Halonen 2010, 300.)

Aaltotyyppi	Energian jakautuminen prosentuaalisesti
Puristusaalto (P-aalto)	5–20
Leikkausaalto (S-aalto)	15–50
Rayleigh-aalto (R-aalto)	45–80

## 2.2 Louhinnan aiheuttama värinä maankamarassa

Maankamara muodostuu kalliosta ja erilaisista maalajeista, joilla on vaikutuksensa värinän leviämiseen ja etenemisnopeuteen (kuva 6).



KUVA 6. Puristus- (P-aalto) ja leikkausaaltojen (S-aalto) nopeus eri maalajeissa (m/s) (Vuolio & Halonen 2010, 300.)



Tärinäaaltoliikkeen energian heijastumisen suuruutta kuvataan Rune Gustafssonin esittämässä Fresnelin kaavassa 6. Arvot  $c_1$  ja  $c_2$  ovat määriteltävissä karkeasti yllä olevasta kuvasta (kuva 6).

$$E_{ref} = \frac{c_2 - c_1}{c_2 + c_1} = \text{energian heijastuminen prosentteina \%} \quad (6)$$

$c_2$  = rajapintaan saapuvan tärinäaaltoliikkeen nopeus (m/s)

$c_1$  = rajapinnan takana olevan tärinäaaltoliikkeen nopeus (m/s)

$E_{ref}$  = energian heijastuminen/vaimeneminen prosentteina (%)

Kyseessä on karkea teoreettinen arvo, koska maankamara ei ole homogeeninen ja heijastumiseen/vaimenemiseen vaikuttavat esimerkiksi kallioperän ruhjeet, topologia ja maankamاران kosteusolosuhteet.

### 2.2.1 Räjähdykset ja panostaminen

Louhinnassa tapahtuva räjähdys perustuu panosten räjähtäessä syntyvän kaasunpaineiskun aikaansaaman seismisen aaltoliikkeen synnyttämiin jännityksiin, jotka panosten välittömässä läheisyydessä ylittävät kiviaineksen lujuuden aiheuttaen näin kiviaineksen rikkoutumisen. Kauempana panoksista ei tapahdu rikkoutumista, vaan muodonmuutokset ovat palautuvia ja ne huomataan tärinäinä. Räjähdys itsessään on nopea kemiallinen reaktio, jossa vapautuu suurimäärä lämpö- ja liike-energiaa. Tällöin maankamaraan ja ilmakehään syntyy aaltoja, jotka havaitaan tärinäinä sekä ilmassa etenevänä paineaaltona.

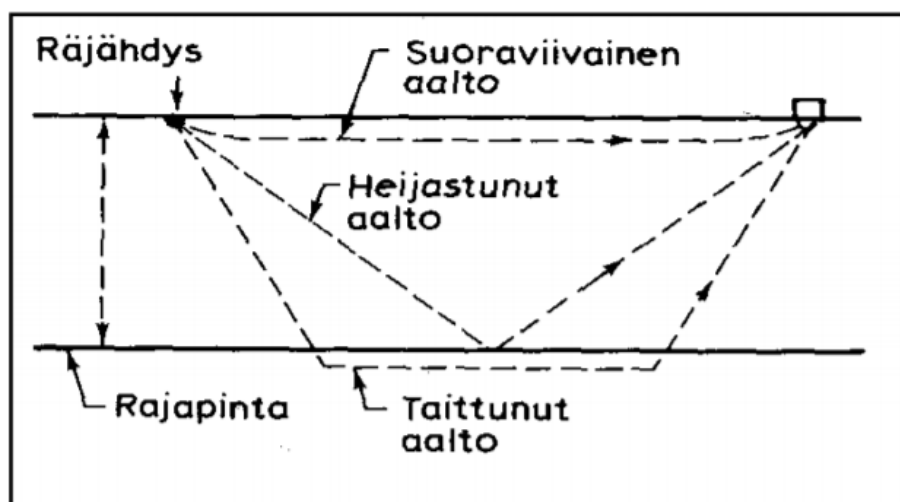
Louhintatyössä käytetään useita erilaisia räjähteitä kohteen vaatimuksista riippuen. Dynamiitti on suomessa käytetyin louhintaräjähdde. Muita käytettyjä räjähteitä ovat kemiitti, aniitti ja anfo. Taajama-alueilla louhinta joudutaan usein suorittamaan tarkkuuslouhintana pienin panostuskentin. Tarkkuuslouhinnassa käytetyimmät räjähdysaineet ovat dynamiitti ja kemiitti. Maanalaisessa louhinnassa kemiitin etuna on räjähdyksessä syntyvien kaasujen puhtaus.

Panostamisella ja suunnittelulla on erittäin suuri vaikutus louhintatärinän hallinnassa. Tärinän voimakkuuteen voidaan vaikuttaa esimerkiksi momentaanisen räjähdysaineen määrällä, sytytyksen hidastimien käytöllä, oikean räjähdysaineen valinnalla, porausreikien etäisyydellä sekä rakoporauksien käytöllä. Sähköisiä sytytysjärjestelmiä käytettäessä on aina huomioitava mahdolliset sähkömagneettisia aaltoja lähettävät lähteet, kuten suurjännitejohdot, puhelimet, tukiasemat, tutkalähtimet ja niiden vaatimat turvaetäisyydet.

Kappaleessa 3.1.2 käsitellään tarkemmin räjähdysten aiheuttamaa tärinää maankamarassa.

### 2.2.2 Heijastuminen

Tärinäaaltoliikkeen saavuttaessa eri maalajien välisen rajapinnan osa sen energiasta heijastuu rajapinnasta ja palaa takaisin alkuperäiseen väliaineeseen (kuva 7). Tärinäaaltoliikkeen heijastuminen on riippuvainen aineiden kiinteyksien eroavaisuudesta. Mitä suurempi kiinteyksien ero on, sitä suurempi osa aaltoliikkeen energiasta heijastuu takaisin alkuperäiseen aineeseen (kaava 6).



KUVA 7. Suoraviivainen, heijastunut ja taittunut aalto (Vuolio & Halonen 2010, 192.)

### **2.2.3 Interferenssi**

Maankamarassa saattaa edetä yhtäaikaisesti useita aaltoliikkeitä, joiden yhteisvaikutusta kutsutaan interferenssiksi. Interferenssiaalloksi kutsutaan näiden yhteisvaikutuksesta syntyvää summa-aaltoa. Aaltojen poikkeamien ollessa samansuuntaiset ne vahvistavat toisiaan, mutta vastaavasti poikkeamien ollessa vastakkaisuuntaiset ne heikentävät toisiaan.

### **2.2.4 Vaimeneminen**

Tärinäaallot vaimenevat maankamarassa pääosin geometrisen ja materiaalivaimennuksen kautta. Geometrisessä vaimenemisessä etääntyvän tärinäaaltoliikkeen energia jakaantuu laajemmalle pinta-alalle, jolloin tärinäaallon amplitudi pienenee. Pinta-ala on suoraan verrannollinen etäisyyden neliöön. Materiaalivaimenemisessä tärinäaaltojen energia vaimenee maalajien kitkan ja koheesion vaikutuksesta.

### 3 LOUHINNAN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Louhintatöiden suunnittelu ja toteutus on aina lakisääteistä rakennustoimintaa, joka perustuu seuraaviin lakeihin ja asetuksiin:

Maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL 132/1999) ja Maankäyttö- ja rakennusasetus (MRA 10.9.1999/895) antavat määräyksiä eri osapuolten velvollisuuksista rakennushankkeessa, suunnittelijoiden pätevyyksistä, tarvittavista viranomaistoimenpiteistä ja yleisiä määräyksiä rakennustyön haittojen välttämiseksi.

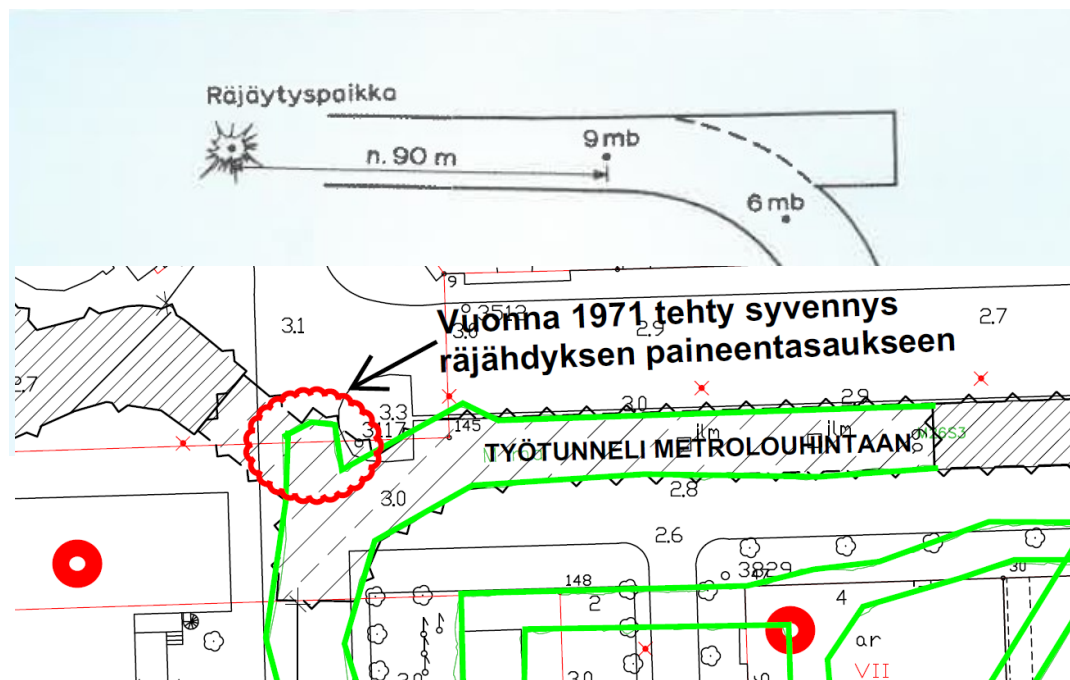
Ympäristönsuojelulaki (YSL 524/2014) määrää viranomaistoimenpiteet melua ja tärinää aiheuttavasta tilapäisestä toiminnasta. Laki ympäristövahinkojen korvaamisesta (YVL 737/1994) määrää suoritettavista korvauksista ympäristövahingon sattuessa.

Louhinta- ja räjäytystoimintaa säätelevät useat eri lait ja asetukset, kuten panostajalaki (423/2016), vahingonkorvauslaki (412/1974), Valtioneuvoston asetus räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta (644/2011) ja Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta (205/2009). Räjäytystyöt ovat lainsäädännössä kirjattuna ankaran vastuun alaiseksi toiminnaksi.

Maankäyttö- ja rakentamislaki (Suomen Rakentamismääräyskokoelma; Rakenteiden lujuus ja vakaus, pohjarakenteiden suunnittelu 2018) ohjeistaa seuraavaa louhintatöistä: ”kallion louhinta perustuu pohjarakennesuunnitelmaan ja kirjalliseen louhintasuunnitelmaan siten, ettei siitä aiheudu vahinkoja eikä tarpeetonta liikalouhintaa tai kallion rikkoontumista”. Suunnitelmat pidetään ajan tasalla ja niitä muutetaan tarvittaessa työn aikana. Louhittaessa rakennuksen tai rakenteen perustuksen vieressä perustustason alapuolella kallion lujitussuunnitelma. Louhittavat kallioseinämät vahvistetaan tarvittaessa ennen louhintaa pultituksella. Louhintasuunnitelma sisältää tiedot porauksesta, käytettävistä räjähdystarvikkeista, sytytyksestä, tarpeellisesta peittämisestä ja räjäytysajankohdista. Lisäksi louhinta-alueelta selvitetään tarpeellisessa laajuudessa räjäytettävän kohdan ominaisuudet kuten maakerrosten- ja kallion laatu sekä rakenne. Ennen louhintaa tehdään ympäristön katselmukset tarvittavassa laajuudessa. Tärinälle arko-

jen rakenteiden ja herkkien laitteiden lähellä louhittaessa tehdään yleensä tärinämittauksia louhinnan aikana (RakMK. Rakenteiden lujuus ja vakaus, pohjarakenteiden suunnittelu 2018). Vaikka tärinämittaus ei ole suoraan lainsäädännön alaista toimintaa, taajama-alueilla tämä yleensä vaaditaan.

Vaikka tässä opinnäytetyössä ei perehdytä tarkemmin räjähdysten aiheuttamaan ilmanpaineaaltoon, tulee se aina huomioida louhinnan suunnittelussa. Taajama-alueen pengerlouhinnassa se hoidetaan täkkäyksellä ja oikean suuruisella panostuksella. Maanalaisessa tunnelilouhinnassa tehdään yleensä purkauskuiluja paineaallon hallitsemiseksi. Tunnelin pituusgeometrian salliessa tunnelin kaarteeseen voidaan tarvittaessa louhia syvennys paineaallon vaimentamiseksi. Esimerkiksi Sörnäisten rantatie 6:ssa sijaitsevaan ajoluiskaan tehtiin vuonna 1971 louhinnan yhteydessä ylimääräinen tunneliperä (kuva 8) räjähdyksessä syntyvän syntyvän paineaallon hallitsemiseksi. Vuonna 2021 (kuva 8, alaosaa) samalla alueella suoritettua tasolouhinnan paineaaltojen vaimennus tehtiin täkkäämällä.



KUVA 8. Ilmanpaineaallon vaimentaminen tunneliperän avulla (Vuolio & Halonen 2010 yläkuva, alakuva Dracon Oy 2020.)

### 3.1 Ympäristöselvitys ja riskianalyysi

Taajama-alueilla suoritettavista rakennustöistä laaditaan ympäristöselvitys tai riskianalyysi, jonka teettää rakennushankkeeseen ryhtyvä. Mikäli rakennushanke sisältää louhintatöitä teetetään hankkeeseen käytännössä aina riskianalyysi, joka sisältää:

- kuvauksen suoritettavasta työstä, toteutusajankohdasta ja sijainnista
- maaperätutkimukset
- yleiskuvauksen työmaan ympäristöstä ja vaikutusalueella olevista kiinteistöistä ja rakenteista
- kunnallistekniikan sijainnit ja niihin mahdollisesti kohdistuvat toimenpiteet (Helsingin kaupungilla oma ohjeistus vesihuollon läheisyydessä tapahtuvaan louhintaa ja rakennustyöhön 7.6.2017) sekä mahdolliset liikenne- ja kulkujärjestelyt
- ohjeen vaikutusalueella olevien kiinteistöjen tiedottamiseksi
- tärinän ja melun vaikutusalueet kartalla
- vaikutusalueella olevien kiinteistöjen ja maanalaisien rakenteiden katselmukset
- ohjeellisten tärinän raja-arvojen määrittämisen vaikutusalueella olevien kiinteistöjen, rakenteiden ja laitteiden osalta
- tärinämittarien lukumäärä ja sijoituspaikat
- arvion louhinnan määrästä, toteutustavoista, riskeistä

Alaotsikoissa 3.1.1, 3.1.2 ja 3.1.3 käydään louhinnan aiheuttaman tärinän osalta vaadittavia selvityksiä riskianalyysiin.

### 3.1.1 Riskien arviointi

Riskien arvioinnissa määritellään kaikki työhön kohdistuvat riskit, turvallisuuteen, työn toteutukseen ja ympäristöön. Arvioidaan riskien suuruus ja esitetään tarvittavat toimenpiteet niiden hallitsemiseksi. Riskien arviointi voidaan liittää riskianalyyysiin ja se tehdään suunnittelijan sekä ennen louhintatyön aloitusta urakoitsijan toimesta.

### 3.1.2 Vaikutusalueen arviointi

Tärinävaikutusten arvioinnin alue määritellään louhinnasta syntyvän tärinän voimakkuuden sekä ympäristön tärinäherkkyyden perusteella. Tätä voidaan karkeasti määrittellä laskemalla heilahdusnopeuden ohjearvoja vaikutusalueella oleviin rakennuksiin ja rakenteisiin. Vaikutusalueen kokoa voidaan rajata räjähdyskentän ja momentaanisen räjähdemäärän suuruudella.

Ensiarvoisen tärkeää on selvittää alueella mahdollisesti aikaisemmin tehdyt louhinnat, joista saadaan lisätietoa alueen maankamaran ominaisuuksista tärinän suhteen. Tärkeää on myös tehdä tarvittavia koeporauksia maankamaran ja kallioperän topologian selvittämiseksi.

Suomalaiset tärinäraja-arvot perustuvat pohjoismaisiin tutkimuksiin ja kokemuksiin. Tärinäraja-arvo määritetään yleensä heilahdusnopeuden pystykomponentista ( $v_{\max}$ ) vaativuusluokan 1 (helppo) louhinnassa. Taajama-alueilla vaativuusluokka on aina 2 (vaativa) tai 3 (erittäin vaativa), jolloin käytetään kolmikomponenttista raja-arvon määrittystä (x,y,z). Lisäksi huomioidaan perustuksiin kohdistuvan tärinän taajuus ja sen mahdollinen siirtyminen rakenteisiin.

Ohjearvot rakenteiden räjäytystärinöille voidaan laskea kaavasta (7)

$$v = F_k \times v_1 \text{ (mm/s)} \quad (7)$$

$v$  = heilahdusnopeuden pystykomponentin ohjeellinen huippuarvo (mm/s)

$F_k$  = rakennustapakerroin

$v_1$  = heilahdusnopeus eri etäisyyksillä (mm/s)

Rakennustapakerroin  $F_k$  voidaan määrittellä taulukon 2 mukaisesti. Huomioitava on, että mikäli rakenne on huonokuntoinen, taulukon 2 arvoja ei voi käyttää vaan rakenne arvioidaan aina tapauskohtaisesti.

TAULUKKO 2. Rakennustapakertoimen  $F_k$  määrittely (RIL 253-2010, 24.)

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

Heilahdusnopeuden perusarvo  $v_1$  etäisyyden mukaan voidaan määrittää taulukon 3 avulla erilaisille maa- ja kalliopohjille perustetuille rakennuksille ja rakenteille. Tällöin voimme kaavan 7 mukaan määrittää heilahdusnopeuden ohjeellisen huipparvon  $v$  etäisyyden suhteen.



TAULUKKO 3. Heilahdusnopeuden  $v_1$  määrittäminen etäisyyden suhteen (RIL 253-2010, 25.)

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

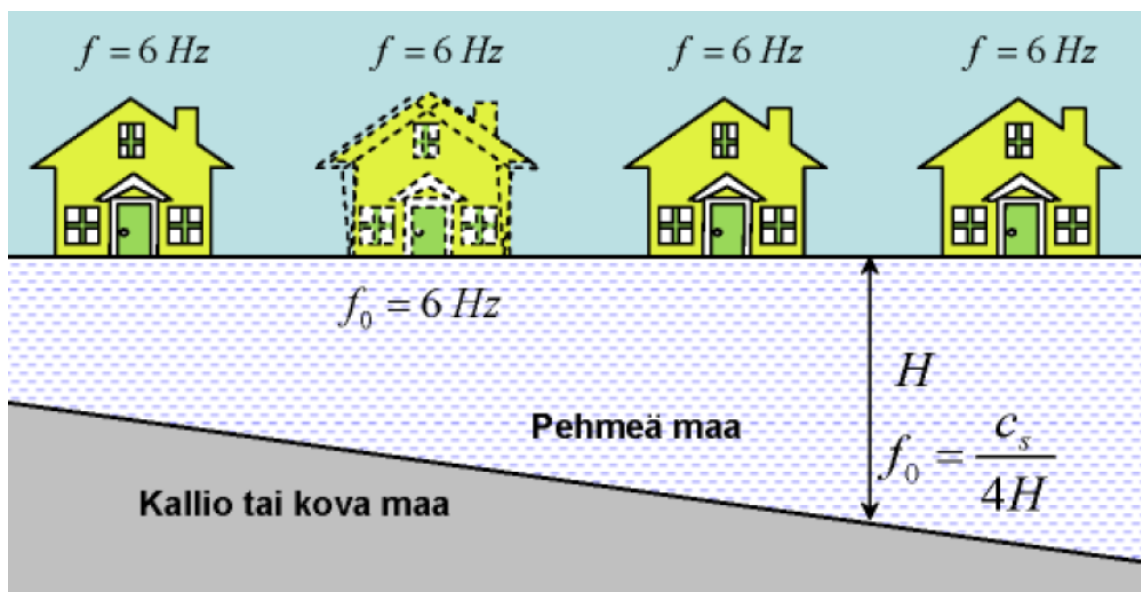
Kalliotilat, jotka ovat yhteiskäytössä tai niihin on sijoitettu värinäherkkiä laitteita, tulee aina arvioida tapauskohtaisesti.

Taajama-alueilla usein on myös erityisrakenteita, joilla on tiukempia ohjearvoja värinän suhteen. Näitä ovat esimerkiksi metrotunnelit ja datakeskukset. Erilaisille laitteille on valmistaja yleensä määrittellyt värinäohjearvot.

Mitoituksessa tulee myös huomioida kunnallistekniset rakenteet, kuten viemärit, kaasu- ja vesijohdot sekä kaapelit.

Toinen värinää tarkasteltaessa käytettävä mittayksikkö on taajuus ( $\text{Hz}$ ). Värinän vahinkovaikutuksia arvioidessa värinän taajuus on tärkeä huomioida, kun värinän heilahdusnopeus on suuri ( $v_1 < 10 \text{ mm/s}$ ). Louhintavärinän taajuuksina heilahdusnopeuden huippuarvon kohdalla louhinnoissa on mitattu 9–305  $\text{Hz}$  taajuuksia. Värinän taajuus pienenee etäisyyden kasvaessa. Yli 200 m etäisyydellä värinän taajuus on ollut 80  $\text{Hz}$  ja yli 800 m etäisyydellä alle 50  $\text{Hz}$ . Pienitaajuinen värinä 4–20  $\text{Hz}$  on rakenteiden kannalta haitallisinta (Suomen ympäristö 2010). Etäisyyden kasvaessa heilahdusnopeuden arvo laskee, jolloin rakenteiden vaurioitumisriski pienenee.

Rakennuksilla ja rakenteilla on oma ominaistaajuutensa, joka riippuu sen massasta, perustuksen jäykkyydestä, perustamistavasta, korkeudesta ja vaakadiensioista. Edellä mainitut asiat ja maankamarassa esiintyvä värähtely ja sen taajuus vaikuttaa maankamarasta perustuksiin siirtyvän värähtelyn suuruuteen. Perustuksista rakenteisiin siirtyvään tärinään vaikuttavat perustuksen värähtelyn suuruus ja taajuus sekä rungon ja lattian dynamiikka. Mikäli maankamarassa esiintyvän tärinän taajuus on sama rakenteen kanssa, saattaa muodostua resonanssi ilmiö, joka vahvistaa värähtelyä huomattavasti (kuva 9). Vaikka louhinta on iskumainen dynaaminen kuormitus, maankamaran olosuhteista, dispersiosta ja tärinäaaltojen heijastumisesta johtuen vaikutusalue voi kasvaa huomattavasti. Vaikka etäällä olevan rakennuksen vaurioriski onkin pieni, saattaa tämä ilmiö esiintyä häiritsevänä runkomeluna. Tämä johtaa yleensä taajama-alueilla louhittaessa huomattavaan momentaanisen räjähdysainemäärän sekä räjäytyskentän pienenemiseen, joka kasvattaa yleensä huomattavasti louhinnasta aiheutuvia kustannuksia.



KUVA 9. VTT T2425. Rakennukseen siirtyvän tärinän taajuudenarviointi (Talja, A. 2008.)

Momentaanisen räjähdysainemäärällä on merkittävä painoarvo vaikutusalueen kokoon. Momentaaniseen räjähdykseen voidaan vaikuttaa esimerkiksi pa-

nostuksen reikäkoolla, pengerkorkeuden pienentämisellä, kentän koon muutoksilla, käyttämällä sytytyksen hidasteita ja hyvällä panostussuunnittelulla (erilaisten räjähteiden yhteiskäyttö).

Lyhyemmillä etäisyyksillä (alle 100 m) tärinän suuruutta voidaan mallintaa kaavan 8 mukaan,

$$v = k \times \sqrt{\frac{Q_m}{R^{1,5}}} \quad (8)$$

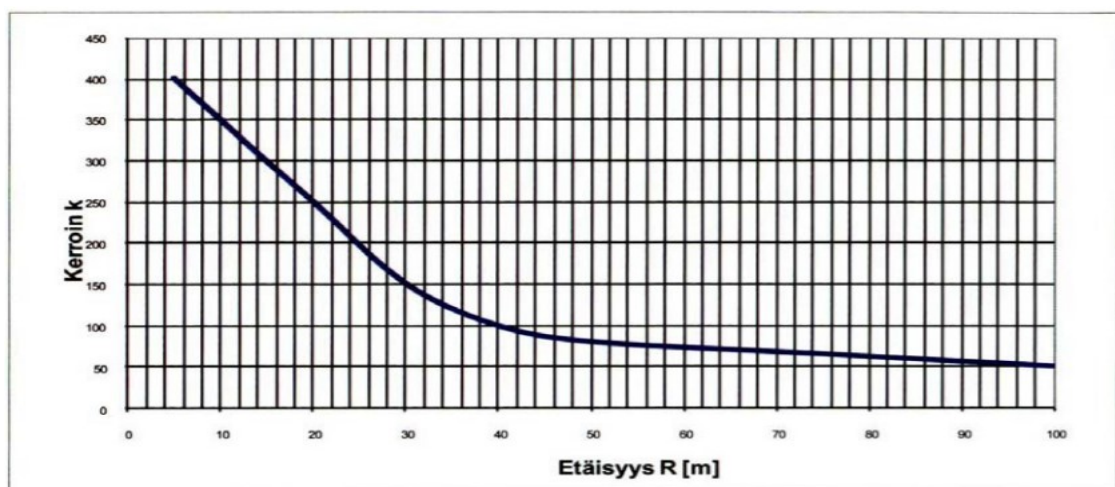
$v$  = heilahdusnopeuden pystykomponentin ohjeellinen huippuarvo ( $mm/s$ )

$k$  = rakenteen perustamistapa ja olosuhde kerroin

$R$  = etäisyys työkohteesta tarkastelupisteeseen ( $m$ )

$Q_m$  = samanaikaisesti räjähtävä momentaaninen räjähdysainemäärä ( $kg$ )

Kerroin  $k$  riippuu tarkastelupisteessä sijaitsevan rakenteen perustamistavasta, kallionperän laadusta, etäisyydestä ja räjäytystavasta. Pienillä etäisyyksillä (alle 10 m) voidaan käyttää  $k$  arvoa 400. Taajama-alueilla  $k$  arvo usein joudutaan määrittämään esimerkiksi koeräjäytyksin tai vaihtoehtoisesti louhinta aloitetaan pienemmillä panostuksilla, jotta  $k$  arvo pystytään määrittelemään eri tarkastelupisteissä. Alla olevassa kaaviossa (kuva 10) esitetään kokemusperäisiä  $k$  arvoja pengperlouhinnassa.



KUVA 10. Kertoimen  $k$  kokemusperäisiä arvoja pengperlouhinnassa (RIL 253-2010, 83.)

### 3.1.3 Kiinteistökatselemukset ja tiedottaminen

Katselemuksen suorittavan yrityksen on nimettävä katselemustyön vastuuhenkilö, jolla on oltava voimassa oleva FISE Oy:n myöntämä aa-vaativuusluokan tärinäasiantuntijan pätevyys. Ennen louhintatöiden alkua on tehtävä kiinteistökatselemukset vaikutusalueen sisäpuolella olevissa rakennuksissa, rakenteissa sekä alueen maanalaisissa tiloissa. Katselemusalueen laajuus mitoitetaan vaikutusalueen arvioinnin mukaisesti. Katselemusalueen laajuutta määritettäessä on otettava huomioon ympäröivien rakennusten, rakenteiden ja laitteiden tärinäherkkyys. Mikäli alueella on suoritettu aikaisemmin louhintoja, onkin ensiarvoisen tärkeää selvittää, voidaanko vanhoja mittaustuloksia hyödyntää suunnittelussa. Katselemuksen suorittajan tulisi aina olla kolmannen osapuolen edustaja, joka mahdollisissa riitatapauksissa toimii puolueettomana osapuolena mahdollisten vahinkojen tarkastuksessa sekä lausunnon laatijana.

Ennen Katselemuksien suoritusta laaditaan tiedote vaikutusalueella asuville ja työskenteleville. Tiedote tulee jakaa vähintään 2 viikkoa ennen katselemuksia.

Ennakkotiedote tulee sisältää ainakin seuraavat asiat,

- katselemuksien ajankohta
- työn tarkoitus ja arvioitu ajankohta
- mitä mahdollisia haittoja aiheutuu työn suorituksessa
- työn suorittaja yhteystietoineen
- katselemuksen suorittaja yhteystietoinen

Katselemuksiin laaditaan erillinen ohjeistus tärinälle herkkien laitteiden suojaamiseksi, joka jaetaan katselemuksen yhteydessä asukkaille. Katselemuksen yhteydessä jaetaan myös vaimennustarvikkeita laitteiden suojaamiseksi tärinöiltä.

Yksityisasunnoissa katselmuksot suoritetään n. 1,5 m etäisyydeltä tarkasteltavasta pinnasta piirtämismenetelmällä ja havaitut halkeamat kirjataan kirjainkoodilla seuraavasti, hiushalkeama(H), pienihalkeama (F), keskikokoinen halkeama (M), iso halkeama (G) ja suuri halkeama (S).

Yleisten tilojen, kuten esimerkiksi kellaritilat, julkisivut, porraskäytävät ja ullakotilat, katselmuksessa voidaan hyödyntää myös valo- ja videokuvausta. Katselmuksen yhteydessä opastetaan asukkaita laitteiden vaatimista suojaustoimenpiteistä sekä jaetaan ja avustetaan tärinävaimennustarvikkeiden asennuksessa. Katselmuksessa ei huomioida asunnon tai tilojen yleiskuntoa vaan ainoastaan niiden rakenteellisia vikoja. Katselmus yksityisasunnoissa tehdään asukaan luvalla. Katselmuksista laaditaan pöytäkirja, jonka allekirjoittavat katselmukseen osallistuneet henkilöt. Katselmuspöytäkirja toimitetaan kolmena kappaleena, joista yksi osa on urakoitsijalle, toinen osa kiinteistön edustajalle ja kolmas osa liitetään osaksi ympäristöselvitystä.

Mikäli vaikutusalueella sijaitsee esimerkiksi maanalaisia tiloja, tehdään tiloihin katselmus samalla periaatteella. Tiloihin on usein sijoitettu tärinäherkkiä laitteistoja, jotka tulee aina tarkastaa ja suojata tärinältä valmistajan ohjeistuksen mukaan.

Katselmuspöytäkirjaan kirjataan,

- kiinteistön osoite ja omistaja
- kiinteistön käyttötarkoitus
- rakentamisvuosi
- perustamistapa
- kantavat rakenteet ja mahdolliset erityiset rakenneratkaisut
- tärinä herkkät laitteistot, jotka vaativat toimenpiteitä
- pölylle herkkät laitteistot, jotka vaativat toimenpiteitä
- kuvaukset kiinteistön kaikista tiloista
- havaitut rakenteelliset vauriot

Tärinäherkkiä laitteistoja ovat esimerkiksi datakeskukset, muuntamot ja Atk-laitteistot. Katselmuksessa tulee myös huomioida esimerkiksi tasohyllyt, joista esi-  
neitä voi pudota tärinän seurauksesta sekä mahdolliset arvotaulut, joihin voi syn-  
tyä vaurioita.

### 3.2 Louhintatöiden aloitus ja työnaikainen seuranta

Ennen louhinnan aloitusta urakoitsija laatii louhintatyölle räjäytys- ja louhintatyön  
turvallisuussuunnitelman, josta ilmenee seuraavat asiat:

- työn tilaaja
- louhintatyön suorittaja
- työmaan sijainti, yleiskuvaus ja aluesuunnitelma
- kohteen geotekniset ominaisuudet (suunnittelijan laatima)
- työmaan organisaatio ja vastuuhenkilöt yhteystietoi-  
neen
- räjäytystyön johtajan nimi ja pätevyys
- arvioitu syntyvän louheen määrä
- ympäristössä sijaitsevat varottavat laitteet ja kohteet
- louhintapaikan sähköistys ja valaistus
- ilmoitus räjäytystyöstä tehty poliisille
- ympäristön huomioiminen (riskianalyysi tehty)
- varmistus, että herkkien laitteiden suojaukset tehty
- räjäytyssuunnitelman tekijän nimi ja suunnitelmien  
säilytys paikka
- vaarallisen alueen määrittäminen
- liikenteenohjaussuunnitelma
- varoitus ja varmistustoimenpiteet ennen räjäytystä
- louhintakalusto sekä räjähteiden varastointi
- alustava panostussuunnitelma ja mitä louhintaräjäh-  
teitä käytetään
- melulupa, jonka myöntää ympäristökeskus tai kau-  
punki

- suunnitelman melun torjuntaan sekä räjähdyksessä syntyvän paineaallon hallintaan (esimerkiksi täkkyäksin)
- tarkastukset ja valvonta

Louhintatyössä taajama-alueella tulee olla nimettynä pätevyysvaatimukset täyttävä turvallisuuskoordinaattori, joka katselmoi louhittavan alueen ennen louhintatöiden aloitusta. Räjätystyölle tulee aina laatia aikataulu, jossa huomioidaan louhintatyön vaikutukset muulle ympäristössä tapahtuvalle rakentamiselle. Esimerkiksi kovettuva betoni on erittäin herkkä tärinälle sitoutumisen ja kovettumisen alkuvaiheessa. Maanalaisessa louhinnassa tulee myös aina varmistaa ilmanvaihdon riittävyys kohteessa.

### **3.2.1 Panostajan luvat, pätevyudet, ilmoitukset ja suunnitelmat**

Taajama-alueella toimivalla räjäytystyön johtajalla tulee olla ylipanostajan pätevyyskirja sekä vähintään kahden vuoden kokemus ylipanostajana tai panostajana työskentelystä asutulla alueella.

Panostajan luokkia ovat ylipanostaja, panostaja ja räjäyttäjä. Räjähkeitä saa käsitellä ja käyttää ainoastaan ylipanostajan, panostajan tai räjäyttäjän pätevyyskirjan saanut henkilö. Lisäksi pätevyyskirjan omaavan henkilön välittömässä valvonnassa saa räjähkeitä käsitellä myös muu henkilö, jolla on kyseiseen räjäytystyöhön

riittävä ammatillinen osaaminen. Panostajan pätevyyskirjalla saa käyttää räjähkeitä asutulla alueella, muualla kuin kaivoksessa, enintään 500 kiloa vuorokaudessa ja enintään 10 kiloa panostilassa. Ylipanostajan pätevyyskirjalla räjähkeiden käytössä ei ole määrä- ja paikkakohtaisia rajoituksia lainkaan. Räjähkeiden pätevyyskirjalla saa pätevyyskirjan osoittamissa töissä käyttää räjähkeitä enintään 25 kiloa vuorokaudessa ja enintään kilon panostilassa. Asutulla alueella räjäyttäjä saa räjäyttää kerrallaan yhden panoksen, joissa räjähdysainemäärä ei ylitä alla olevan taulukon 4 määriä (Räjäytys- ja louhintatyön turvallisuusohje).

TAULUKKO 4. Panostus taajama-alueella (Räjätys- ja louhintatyön turvallisuusohje, 16. TKK.)

Yhtenä panoksena räjäytettävä räjähdemäärä (kg)	Etäisyys (m) asutusta rakennuksesta tai paikasta, jossa ihmisiä tavallisesti oleskelee
0,06	10
0,12	20
0,25	40
0,50	80
1,00	160

Panostaja laatii jokaisesta räjäytyksestä kirjallisen räjäytys suunnitelman. Räjäytys suunnitelmat perustuvat työn alkaessa laadittuun ja tarvittaessa päivitettyyn louhintasuunnitelmaan. Räjäytys suunnitelma sisältää seuraavat tiedot:

- pengerkorkeus, kentän sijainti ja koko
- porausreiän koko ja ominaispanostus
- suurin momentaaninen räjähdysainemäärä
- käytettävät sytytysvälineet ja räjähdysaineet
- reikäpanos
- räjäytysnallien kytkentä
- varoalueen määrittämisen ja varmistustoimenpiteet
- peittäminen/täkkäys
- tärinämittausten tulokset
- räjäytysajankohta, suunnitelman laatija ja hyväksyjä

### 3.2.2 Työnaikainen seuranta ja loppukatselmukset

Ennen kentän räjäytystä on tarkastettava räjäytys suunnitelma, panostuskentän sijainti ja koko, sytytys suunnitelma sekä tarvittavien täkkäyksien riittävyys. Lisäksi tehdään tarvittavat toimenpiteet esimerkiksi liikenteen pysäyttämiseksi. Räjäytyksestä ilmoitetaan aina äänimerkillä ympäristöön.



Räjähätyksen jälkeen tarkastetaan, että kentän kaikki räjähteet ovat räjähtäneet, louheen koko suhteessa suunniteltuun sekä tärinämittarien tulokset ja kellonaika. Poikkeamat kirjataan tarvittaessa ylös ja arkistoidaan räjähtys- ja sytytysuunnitelmien yhteyteen.

Mikäli työnaikana syntyy vaikutusalueella sijaitseviin rakennuksiin tai laitteisiin vaurioita, kiinteistökatselemoinnit suorittanut taho tarkastaa vahingot, laatii tapahatumasta lausunnon ja tarvittaessa neuvoo osapuolia korvausmenettelyistä. Lausunto toimitetaan kaikille osapuolille ja mahdolliset korvausvaateet esitetään aina urakoitsijalle.

Louhintatöiden päätyttyä suoritetaan loppukatselmus kiinteistöihin, jotka katselemoitiin ennen louhintatöiden aloitusta. Katselmuksessa pöytäkirjaan kirjataan mahdolliset työn aiheuttamat vauriot. Loppukatselmuspöytäkirjat on tarkastettava ennen työn vastaanottotarkastusta ja mahdolliset vahingot ja vauriot on selvitettävä. Kaikkien osapuolien on hyväksyttävä korvausmenettely ennen taloudellista loppuselvitystä. mikäli reklamaatioita ei tule loppukatselmointia ei tarvitse välttämättä suorittaa

## 4 HAKANIEMEN KAUPPAHALLI

Hakaniemen kauppahallin suunnitteli Helsingin ensimmäinen kaupunginarkkitehti Karl Hård af Segerstad ja se valmistui vuonna 1914. Rakennus on kaksikerroksinen tiilirunkoinen rakennus ja rakennuksessa on lisäksi itäsiivessä kellari-kerros. Rakennuksen julkisivu on puhtaaksimuurattu ja punatiilipinnalla. Vesikatto on konesaumattua peltiä. Ikkunat ovat kaksinkertaisia puuikkunoita. Väli- ja alapohja ovat teräsbetonipalkistojen varaan raudoitettua ontelotiiliä. Rakennus on perustettu puupaaluille. Kellarin perusmuuri on kiviverhoiltu. Itäsiiven kellarissa on teknisiä tiloja ja varastoja. Ensimmäinen ja toinen kerros on pienmyymälätilaa. Rakennuksessa on lisäksi kylmä ullakkotila. Rakennus on suojeltu julkisivun ja 2. kerroksen myymälätilojen osalta (sr-1). Ensimmäinen korjaus ja lattia-remontti tehtiin vuonna 1956. Perusteellisemmin tiloja korjattiin vuonna 1971.

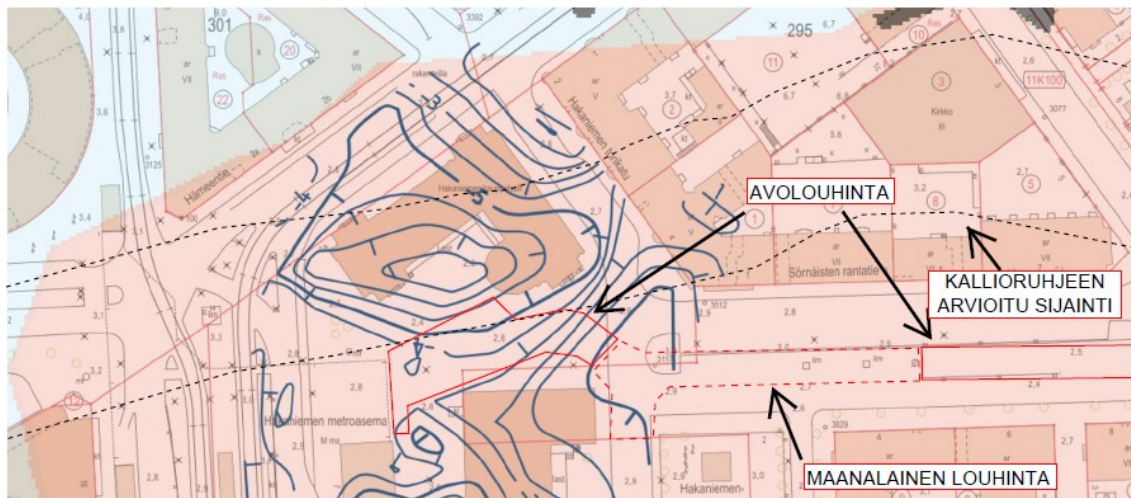
Perusparannushankkeen hankesuunnittelu aloitettiin vuonna 2012 ja työt alkoivat keväällä 2018. Hankkeeseen sisältyi vanhojen puupaalujen korvaaminen suihku-, pora- ja lyöntipaaluin, Metro- ja huoltopihan kulkuvarauksien rakentaminen, anturoiden ja pilarien uusiminen 2. kerroksen välipohjaan asti, kellaritilojen laajenus, 1. kerroksen välipohjan ja tilojen uudelleen rakentaminen, 2. kerroksen konservointityöt, vesikaton uusiminen, julkisivujen korjaus sekä talotekniikan uusiminen. Hanketta laajennettiin vuonna 2020, jolloin siihen sisällytettiin maanalaisen huoltopihan rakentaminen.

Hanke on määritelty poikkeuksellisen vaativaksi pohja- ja kantavien rakenteiden, rakennussuunnittelun, vastaavan työnjohtajan sekä pohjarakennus työnjohtajan osalta. Lisäksi kallioteknisessä erityissuunnittelussa ja kiinteistökatselemoinnissa käytetään kolmannen osapuolen tarkastuksia.

### 4.1 Alueen geologiset olosuhteet ja hankkeen louhinnat

Hakaniemen kauppahallin ympäristön kallioperän topologia on jyrkkäpiirteinen ja itse halli sijaitsee painanteessa, joka on pääsääntöisesti liejuista savea. Kallioperä nousee itään Sörnäisten rantatien suuntaan jyrkästi. Maalajeina kallioperän

päällä ovat ensin ohut noin 1 m paksuinen moreenikerros, jonka päällä on liejuinen savikerros (kuva 9). Tämän jälkeen tulevat louhe- ja täyttökerrokset sekä pintarakenteet noin +2.500 merenpinnan tasosta



KUVA 11. Topografia, saven alapinnan sijainti ja louhinta-alueet (Helsingin karttapalvelu.)

Alueelta löydettiin 1970 luvun alun metrotunnelin louhinnan yhteydessä rikkonaisen kallioperän vyöhyke, jonka synty liittyy mahdollisesti alueella tapahtuneeseen doomimuodostukseen (liite 2, kuva 11). Rikkonaisen kallion vyöhyke etelä-pohjoissuunnassa on noin 20 metriä leveä ja sen raot ovat pääsääntöisesti savi täytteiset Hakaniemen kauppahallin alueella. Ruhje hankaloitti huomattavasti ankkurointitöitä metroyhteyden kaivannon teräsponttiseiniä osalta hankkeen aikaisemmassa vaiheessa.

Pohja- ja orsivesi sijaitsevat alueella noin 2,5 metriä toripinnan alapuolella orsiveden sijaitessa tasossa +0.300. Hakaniemen torin ja kauppahallin alueella maakerroksista on mitattu kynnyksarvot ylittäviä pitoisuuksia haitta-aineiden osalta. Kaivannosta tulevat maa-ainekset käsitellään PIMA-asetusten mukaisesti ja kaivetusta maa-aineksesta otetaan näytteitä säännöllisesti.

Alueen kiinteistöt ovat kallio- moreeni- sekä paaluperustuksien varaan rakennettuja. Hakaniemen kauppahallin perustukset uusittiin tämän hankkeen aikana, jolloin vanhat puupaalut korvattiin teräs- ja suihkupaaluin. Hakaniemen kauppahallin väistötila perustettiin teräspaaluin ja tullaan purkamaan Hakaniemen kauppahallin perusparannusurakan valmistuttua. Hakaniemen torikadulla kiinteistöt 2 ja

4 ovat puupaaluin- tai osittain puupaaluin perustettuja ja tämän johdosta työmaalla suoritetaan säännöllistä pohja- ja orsiveden mittausta. Alueella sijaitsee myös useita maanalaisia kalliotiloja, kuten Merihaan kalliosuoja ja Metro. Metron torinpuoleinen maanalainen lippuhalli perustettu kaivinpaaluin Siltasaarenskadun puolen ollessa kallioperusteinen.

Hankkeen louhinnat suoritetaan kolmessa osassa, joista ensimmäisenä tehdään Sörnäisten rantatie 6:ssa sijaitsevan maanalaisiin tiloihin johtavan ajoluiskan korotason alentaminen noin metrillä sekä kaarteessa sijaitsevan paineperän ulokkeen poistaminen (kuva 8) tunnelin pituusgeometrian parantamiseksi. Toisessa vaiheessa Hakaniemen torin alueella louhitaan tiloja huoltopiha rakentamista varten ja kolmannessa vaiheessa yhdistetään huoltopiha ja ajoluiska tunnelilouhintana.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Sörnäisten rantatie 6:ssa sijaitsevan ajoluiskan maanalaisen osan louhinnan värinävaikutuksia, käydään läpi räjäytysten aiheuttamia värinämittaustuloksia sekä pohditaan näiden vaikutuksia alueen geologiseen ympäristöön ja vaikutusalueella sijaitseviin rakennuksiin.

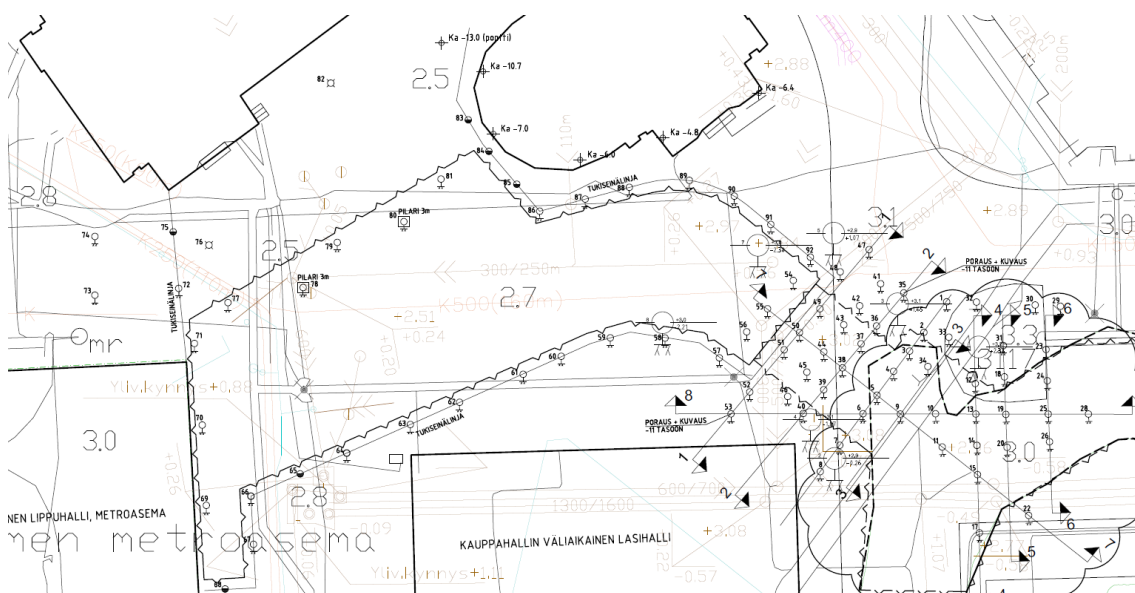
Sörnäisten rantatie 6:ssa sijaitseva ajoluiska louhittiin vuonna 1971 työtunneliksi Metron rakentamiseksi. Alueen välittömään läheisyyteen louhittiin vuosituhaten vaihteessa Merihaan kalliosuoja, jonka ajoyhteytenä ajoluiska myös toimii. Kalliosuoja toimii kriisiaikana väestönsuojana 6000 henkilölle. Tiloissa on tällä hetkellä liikuntatoimintoja sekä maanalainen parkkihalli. Huoltopiha hankkeen johdosta parkkihalli on poistettu käytöstä sekä liikuntatilat ovat myös pääosin suljettu.

#### **4.1.1 Suunnittelu ja toimenpiteet ennen louhinnan aloitusta**

Huoltopiha rakennushankkeelle myönnettiin rahoitus kesäkuussa 2020 ja rakennuslupa heinäkuussa 2020, jonka jälkeen tarvittavien alue-, toteutus- ja turvallisuussuunnitelmien laatiminen aloitettiin välittömästi. Kallio- ja maaperä tutkimukset aloitettiin elokuussa 2020 ja jatkuvat edelleen, kalliooperän topologian, kallioruhjeen, kunnallistekniikan siirtojen sekä kallionlujitus suunnitelmien osalta

(kuva 12). Kiinteistökatselemukset suoritettiin loka-marraskuun 2020 välisenä aikana. Ajoluiskan tarvittavat purku- ja louhintatöiden valmistelut alkoivat joulukuussa 2020 ja louhintatyöt alkoivat tammikuussa 2021 ajoluiskan maanalaisen osan osalta.

Ajoluiskan louhintaan tuli laatia erillinen palo- ja pelastussuunnitelma, joka hyväksyttiin pelastusviranomaisilla. Huomiota tuli erityisesti kiinnittää työsuunnitteluun, koska ajoluiska tuli saattaa käyttökuntoon 72 tunnissa väestönsuojaa vaativan kriisin sattuessa. Tämän vuoksi esimerkiksi tunnelin katossa sijaitsevaa tekniikkaa ei voinut kaikilta osin purkaa vaan se tuli pitää käyttökunnossa.



KUVA 12. Maa- ja kallioperätutkimukset: Hakaniemen kauppahallin perusparannushanke 2021.

#### 4.1.2 Kiinteistökatselemukset ja tärinämittarien sijoituspaikat

Kiinteistökatselemukset suoritettiin luvussa 3.1.3 esitettyllä tavalla. Kiinteistöjen-kalliotilojen ja tärinäherkkien laitteistojen katselemukset suoritti kolmannen osapuolen edustaja (Forcit Consulting Oy), joka myös vastasi tärinämittauksista, mahdollisten reklamaatioista johtuvien tarkastuskäyntien suorituksesta sekä lau-

suntojen antamisesta. Pohjarakennussuunnittelija määritteli tärinämittarien sijainnit katselmuksesta saatujen tietojen sekä alueen maankamaran geoteknisten ominaisuuksien perusteella. Tärinämittarien sijoituksessa tuli huomioida, että vähintään kolme tärinämittaria on aina louhinnan vaikutusalueella, tällöin voidaan tarvittaessa eliminoida tärinämittarien satunnaiset ristiriitaiset lukemat sekä tärinämittarin rikkoutuessa mittaustuloksia saadaan vähintään kahdelta tärinämittarilta.

Katselmuksessa huomioitiin esimerkiksi, että Sörnäisten rantatie 7:ssä sijaitsevan kiinteistön runko halkesi vuosituhannen vaihteessa tehdyn Merihaan kalliosuojan louhintatöiden yhteydessä. Maanalaisissa tiloissa Metron osalta tärinän raja-arvot ovat huomattavasti tiukemmat kuin normaalit ohjearvot sekä muissa kalliotiloissa sijaitsee useita tärinäherkkiä laitteita. Ajoluiskan louhinnasta aiheutuva tärinän vaikutus on Metrotilojen osalta vaikutusalueen ulkopuolella, mutta Hakaniemen torin avolouhinnassa hyvin lähellä louhinta-aluetta. Merihaan kalliosuoja palvelee väestönsuojana kriisitilanteessa ja laitteet ja kojeet ovat tärinäsuojattuja. Tiloissa toimii normaalisti useita yrittäjiä, joilla on käytössään tärinäherkkiä laitteita, esimerkiksi Atk-laitteita, jotka suojattiin katselmuksen yhteydessä tärinävaimentimin.

#### **4.1.3 Louhinta- ja panostussuunnitelma**

Työstä laadittiin erillinen räjäytys- ja louhintatyön turvallisuussuunnitelma luvun 3.2. mukaisesti. Räjäytyssuunnitelman ja sytytyssuunnitelman laati räjäytystyön johtaja.

Kaikista panostuskentistä laadittiin erillinen suunnitelma, joka sisälsi seuraavat asiat (liite 4):

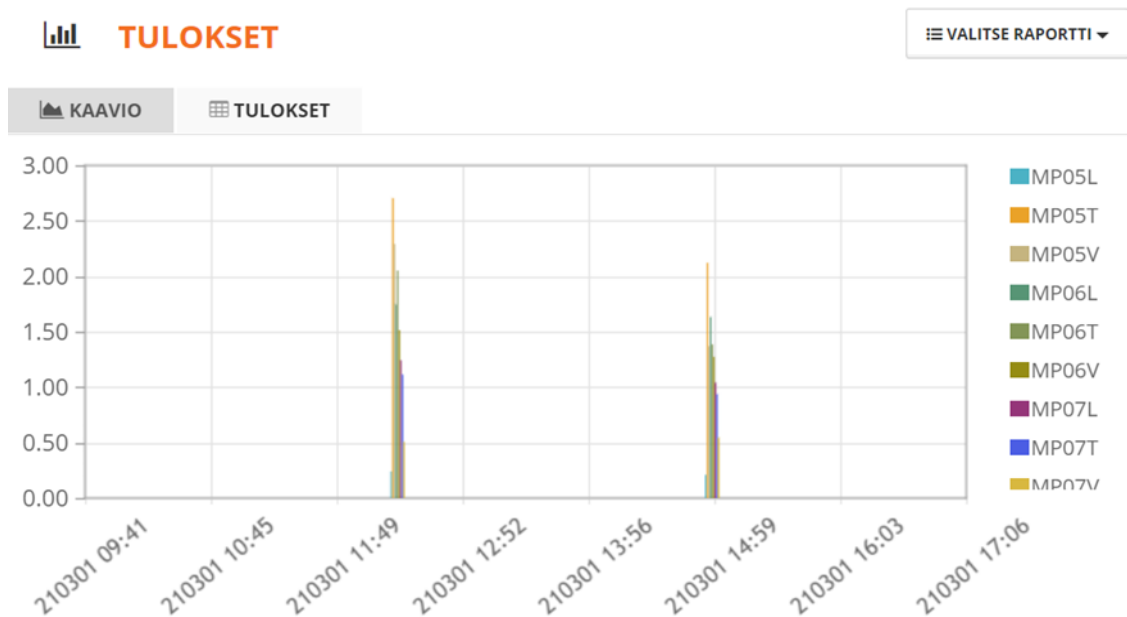
- panostuskentän sijainti
- panostusreikien koko, määrä, syvyys ja etäisyys suhteessa viereisiin panostusreikiin
- sytytyskaavion ja käytettävät räjähdysaineet
- räjähdysaineen sijainti ja määrä/panostusreikä

- momentaanisen räjäytysaineen määrän ja räjäytysaineen kokonaismäärän panostuskentässä
- tiedot täkkäyksestä ja arvion lohkarukoosta
- räjäytyksen päivämäärän ja kellonajan

## 4.2 Seuranta ja toteutus

Ajoluiskan maanalaisen osan tasolouhinnan suoritti louhinta urakoisija (Raivausliike Nikko Oy) 11.1.-1.3.2021 välisellä ajalla. Työssä tehtiin 51 räjäytystä, josta kaikista laadittiin erillinen panostus- ja sytytysuunnitelma. Suunnitelmat koottiin erilliseen kansioon. Panostuskentät katselmoitiin ennen räjäytystä ja tarvittavat liikenteen rajoitustoimenpiteet varmistettiin. Esimerkiksi Hakaniemen puistossa sijaitseva maanalaisiin tiloihin johtava hissi- porraskuilu poistettiin käytöstä louhintaräjäytyksien aikana. Räjäytyksistä ilmoitettiin ympäristöön äänimerkillä.

Räjäytyksien ja varoajan jälkeen tarkastettiin tärinämittarien antamat tärinäarvot (kuva 13), syntyneen louheen koko ja määrä sekä varmistettiin, että kaikki panokset ovat räjähtäneet asianmukaisesti.

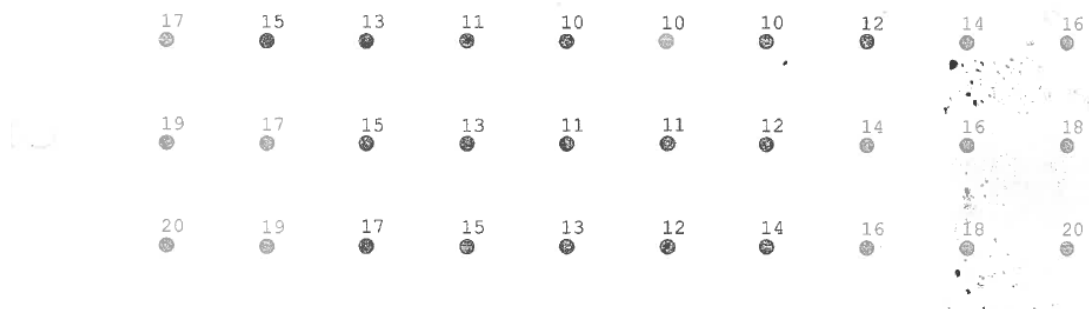


KUVA 13. Tärinämittaus tulokset kentät 50 ja 51, 1.3.2021: Forcic Consulting Oy (Hakaniemen kauppahallin perusparannushanke 2021.)

Arvioitu louhittavan kiviaineksen määrä oli noin 900 m<sup>3</sup>ltr ja toteuma noin 1000 m<sup>3</sup>ktd. Louhintamuotona oli maanalainen pengerlouhinta (neliölouhintana). Panostusreikien ohiporaus oli noin 30 cm pohjapanostuksen sijoituksesta ja reikiensyvyys oli 130–180 cm välillä. Pohjapanostus Fordyn paperipatruunoin (Ø29 mm x 200 mm) ja Kemix A putkipanoksin (Ø22 mm x 1000 mm). Louhinnan reunoilla panostuksena käytettiin Kemix A putkipanoksia (Ø17 x 1000 mm ja Ø22 mm x 1000 mm). Kokonaispanostus kentässä oli maksimissaan 10 kg ja momentaanisen räjähdysaineen määrä oli alle 1 kg (kuva 14, liite 2). Täkkäys tehtiin kaksinkertaisin kumimatoin 3 metriä kentän yli.

Hakaniemen huoltotunneli

Täkkäys raskaat kumimatot kaksinkerroin 3m reunojen yli



KUVA 14. Panostuskenttä nro. 51 1.3.2021 kello 14.58: Raivausliike Nikko Oy.

#### 4.2.1 Reklamaatiot

Ajoluiskan purku- ja louhintatöiden aikana tuli muutamia valituksia runkomelusta Viherniemenkadulla sijaitsevista kiinteistöistä. Kiinteistöt ovat kalliolle perustettuja, joten runkomelun esiintyminen on mahdollista esimerkiksi rusnausta tehdessä. Hankkeessa noudatetaan meluluvan mukaisia työaikoja ja töitä tehdään vain arkipäivisin kello 7.00–18.00 välisellä ajalla. Yhdessä huoneistossa suoritet-



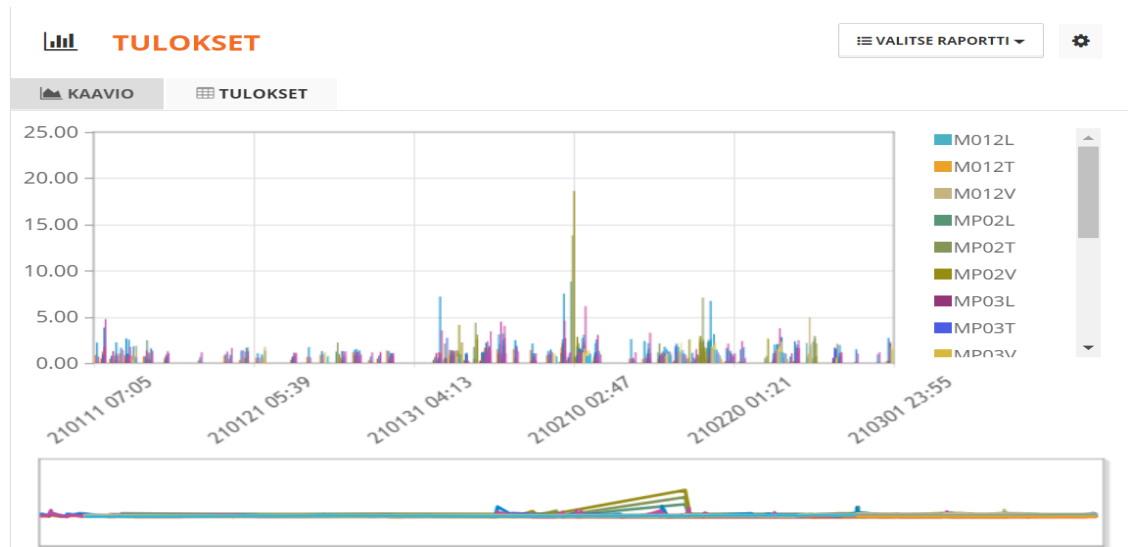
tiin melumittaus desibelimittarin avulla, niin että ajoluiskan kolmessa erillispiisteessä suoritettiin rusnausta ja samanaikaisesti huoneistossa suoritettiin mittauksia äänenvoimakkuudesta. Rusnauksesta syntyvä ääni oli havaittavissa huoneistossa, mutta alitti selvästi raja-arvon. On kuitenkin todettava, että työn toteutuksen ajankohtana useat kiinteistöjen asukkaat tekivät töitä etäyhteyksien avulla, jolloin melu voi häiritä työskentelyä.

Vaurioilmoituksia työn aikana tuli Viherniemenkadulta sekä Sörnäisten rantatien etelä puolella sijaitsevasta kiinteistöstä yhteensä kaksi kappaletta. Kiinteistönselmoija tarkasti vauriot ja selvitti vaurion syntymisen ajankohdan. Katselmoinnin ja tärinämittarien antamien lukemien perusteella katselmoija laati laskelman tärinän vaikutuksesta vaurioituneeseen rakenteeseen. Laskeman ja katselmuksen perusteella katselmoija laati tapahtumasta lausunnon, joka jaettiin asianosaisille. Lopuksi voidaan todeta, että louhintatyöstä aiheutuneet tärinät olivat huomattavasti alle raja-arvon kaikissa louhintaräjätöksissä ja taajuus hyvin korkea vaikutusalueella olevissa kiinteistöissä, jolloin rakenteisiin syntyvät vauriot ovat hyvin epätodennäköisiä.

#### **4.2.2 Työntuloksien tarkastelu**

Ajoluiskan maanalaiset louhinnat korkotason alentamiseksi valmistuivat 1.3.2021. Kuvassa 15 esitetään tärinämittarien arvot 11.1.-1.3.2021 väliseltä ajalta. Kuvasta huomataan useita korkeampia arvoja, jotka johtuvat yksittäisien mittarien antamista lukemista. Tällöin voidaan todeta, että syy on tärinämittarin välittömässä läheisyydessä tapahtuneesta toiminnasta. Tärinämittarit asennetaan usein tiloihin tai kiinteistöihin, jotka ovat käytössä. Poikkeavia tärinämittari lukemia voidaan todentaa vertaamalla tapahtuman ajankohtaa työmaan räjäytyspäiväkirjaan, mistä löytyvät louhinta räjäytysten päivämäärät ja kellonajat. Esimerkiksi alla olevan kaavion (kuva 15) korkein mittaus lukema on tärinämittariin MP02 rekisteröitynyt tapahtuma 10.2.2021 kello 11.01. Mittari on sijoitettu Hakaniemen kauppahallin väistötiloihin, jossa on toimintaa päivisin. Koska lukema on vain yhteen mittariin rekisteröitynyt tapahtuma, voidaan todeta, että tulos on syntynyt tärinämittarin välittömässä läheisyydessä tapahtuneesta toiminnasta, jonka

vaikutusalue on erittäin pieni, jolloin esimerkiksi pieni isku mittarin välittömässä läheisyydessä voi aiheuttaa kyseisen lukeman.



KUVA 15. Tärinämittaus ajalla 11.1.- 1.3.2021: Forciti Consulting Oy (Hakanie-  
men kauppahallin perusparannushanke 2021.)

Hankkeen ollessa kesken loppukatselmusta kiinteistöihin ei voida vielä suorittaa eikä taloudellista loppuselytystä voida vielä tehdä.

## 5 YHTEENVETO

Tuloksia tarkasteltaessa (liitteet 3,4,5) vaikuttaa vahvasti, että Sörnäisten rantatien pohjoispuolella olevat mittauspisteet MP 03 ja MP 04 eivät reagoi louhintaan, koska ruhje vaimentaa tärinän täysin, kun taas mittauspiste MP 06 antaa arvoja, koska kiinteistö sijaitsee vain osittain ruhjeen päällä sekä mittauspiste on sen eteläpuolella kiinteässä kallioperässä. Kyseisen kiinteistön runko halkesi vuosituhatkymmen vaihteessa Merihaan kalliosuojan louhinnan aikana, jolloin momentaaniset räjähdysainemäärät olivat todennäköisesti huomattavasti suurempia ja rakennuksen runkoon kohdistui suurempia tärinävaikutuksia heijastumisvaikutuksen johdosta. Mittauspisteet MP 05 ja MP 07 sijaittivat Sörnäisten rantatien eteläpuolella olevissa kiinteistöissä. Kyseiset kiinteistöt ovat kallioperusteisia ja antoivat selkeitä tärinämittaustuloksia. Eteläpuoleisista kiinteistöistä tuli myös rekламаatioita runkomelusta, kallioperän rusnauksen, kalliopulttien- ja panostusreikien porauksen yhteydessä. Mittauspisteet MP 01/2 (Metro laitetilä), MP 01 (Metro) sekä MP 02 (Hakaniemen kauppahallin väistötilä) eivät antaneet mittaus-tuloksia kallioperän topologian, alueella sijaitsevan savikon sekä etäisyyden johdosta. Vaikutuksia tulee myös kyseisiin mittauspisteisiin vasta louhintojen myöhemmässä vaiheessa.

Hankkeen edetessä Hakaniementorin, Hakaniemen torikadun ja Sörnäisten rantatien yhtymäkohdassa suoritetaan tunnelilouhintaa ja kunnallistekniikan siirtoja, jolloin tulee myös huomioida ruhjeen sijainti kallionlujituksessa. Tulevaisuudessa, mikäli louhintaa suoritetaan Hakaniemen kauppahallin välittömässä läheisyydessä, tulee huomioida kauppahalliin kohdistuvat tärinät, koska se sijaitsee osittain ruhjeen päällä. Lisäksi tulee huomioida mahdolliset huoltopihan suuret valutyöt, mikäli louhintaa suoritetaan alueella.

Kaupunkiympäristössä maankamaran geologisia tutkimuksia on usein hankala suorittaa poraamalla. Tärinämittauksia voidaan hyödyntää hankkeissa, joissa louhitaan tiiviisti rakennetussa ympäristössä. Esimerkiksi tunnelilouhinnassa voidaan asentaa useita tärinämittareita louhintalinjalle jonoon, tällöin mittaus-tuloksia tulkitsemalla saadaan ensiarvoisen tärkeitä tietoja maankamaran ominaisuuksista etukäteen.

Lopuksi haluan vielä kiittää seuraavia henkilöitä tämän opinnäytetyön valmistumisesta. Petri Lylyä (TAMK) opinnäytetyön ohjauksesta, Riku Koposta (Stara), Vesa Lairia (E. M. Pekkinen Oy) aiheen valinnasta ja opastuksesta työmaalla sekä Timo Väyrystä (Pohjatekniikka Oy) asiantuntevasta kommentoinnista.

## LÄHTEET

Hakaniemen kauppahallin perusparannushankkeen. Työmaan asiakirjat ja suunnitelmat: Helsingin kaupungin rakentamispalveluliikelaitos Stara.

Kaupunkiympäristön toimiala. Maa- ja kallioperäyksikkö. Ohjeita vesihuoltoon liittyvien kunnallisteknisten tunneleiden päälle ja läheisyyteen rakentamisesta 7.6.2017. Helsingin kaupunki.

Lainsäädäntö. MRL 132/1999, MRA 10.9.1999/895, YSL 527/2014. Finlex

Pinomäki, T. & Vuento, A. 2016. Räjätys- ja louhintatyön turvallisuusohje. Työturvallisuuskeskus TTK 2016.

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

Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus, pohjarakenteiden suunnittelu 2018. Ympäristöministeriö.

Suomen ympäristö 25/2010. Tärinän taajuudet ISBN: 978-952-11-3810-2

Vuolio, R. & Halonen, T. 2012. Räjätystyöt 2010. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Vänskä, P. & Raudusmaa, P. 2005. Helsingin keskustan kallioruhjeet. Geotekninen osasto julkaisu 89/2005.

Wikipedia. ankara vastuu, taajama-alue. Luettu 14.5.2021.

## LIITTEET

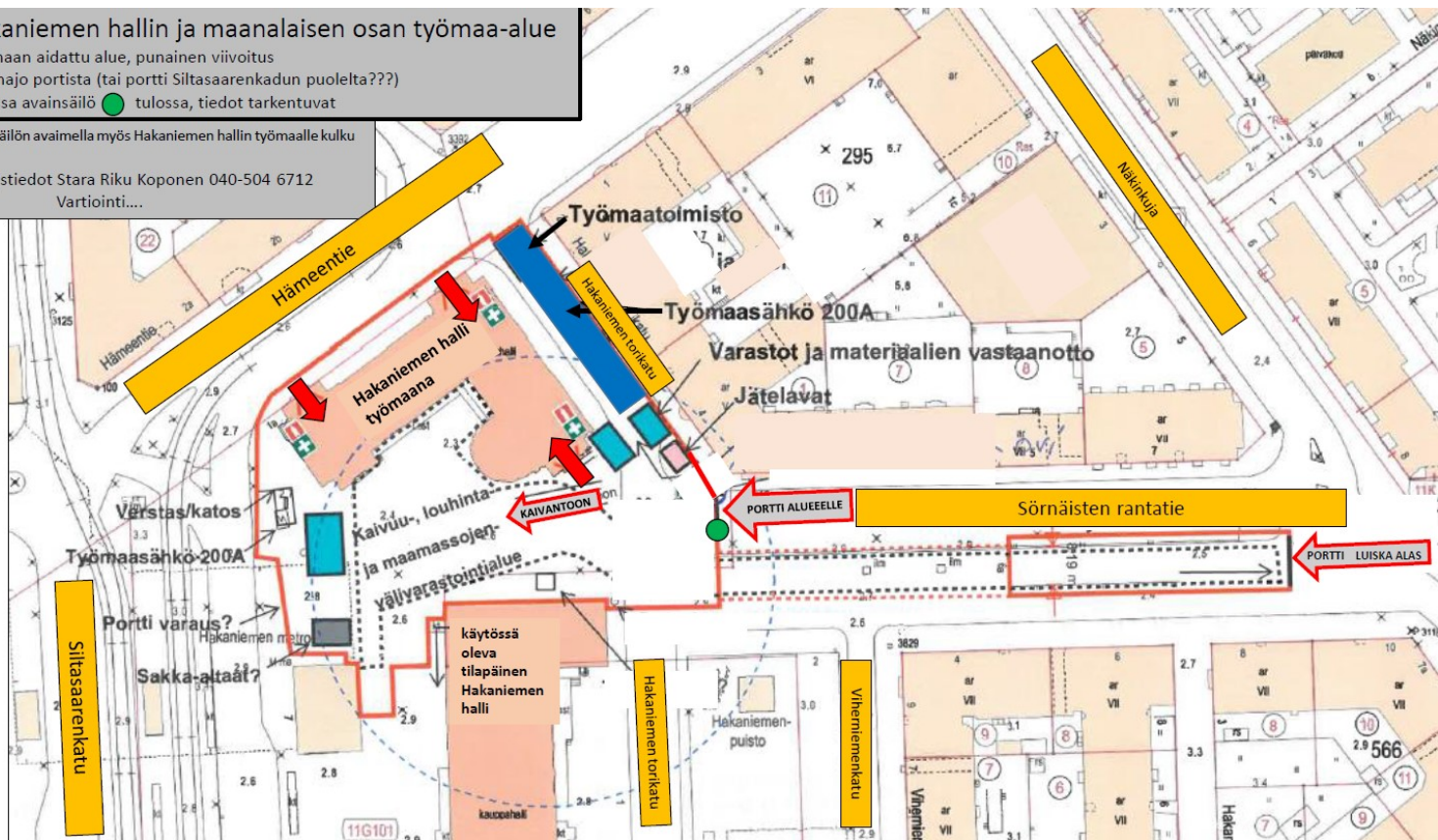
## Liite 1. Työmaan aluesuunnitelma: STARA

## Hakaniemen hallin ja maanalaisen osan työmaa-alue

Kokonaan aidattu alue, punainen viivoitus  
Sisäänajo portista (tai portti Siltasaarenkadun puolelta???)  
Portissa avainsäilö ● tulossa, tiedot tarkentuvat

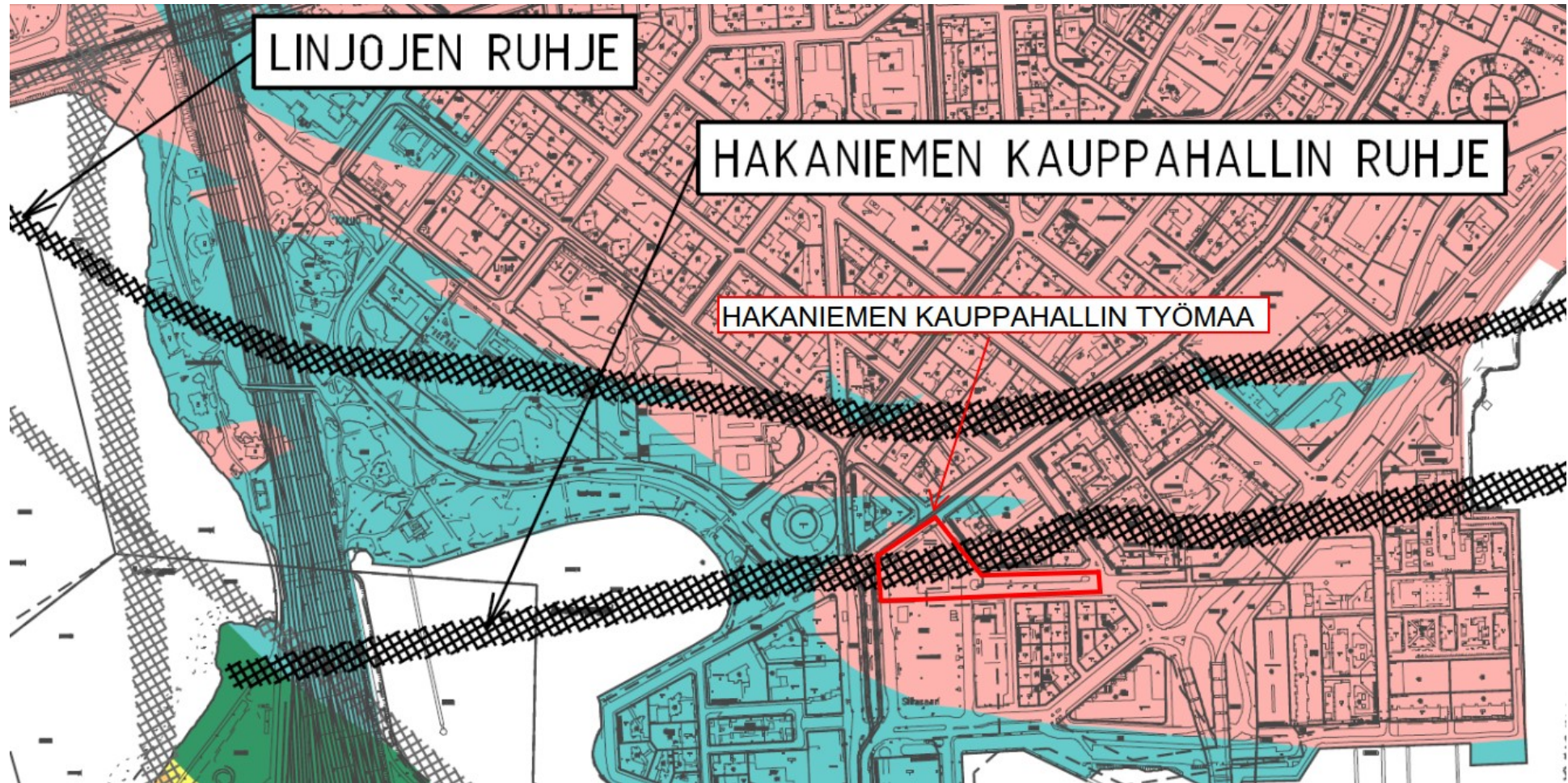
Avainsäilön avaimella myös Hakaniemen hallin työmaalle kulku

Yhteystiedot Stara Riku Koponen 040-504 6712  
Vartiointi....





Liite 2. Helsingin keskustan kallioruhjeet: GEO julkaisu 89/2005.









## Liite 4. Panostus- ja sytytyskaavio nro. 51: Raivausliike Nikko Oy

Raivausliike Nikko Oy

51.

1.3.2021

Hakaniemen huoltotunneli  
Täkkäys raskaat kumimatot kasinkerroin 3m reunojen yli

K10 14:59

## TULOS (Annettu reikien sijoitus)

PENGERKORKEUS, m	1.5
REIKÄLÄPIMITTA, mm	38
ETU, m	.7
RIVIVÄLI, m	.71
REIKÄVÄLI, m	.7
REIKÄSYVYYS, m	1.8
OHIPORAUS, m	.3
PANOSTAMATON OSA, m	1.0
POHJAPANOS	
TYYPPI	FDyn
LÄPIMITTA, mm	29
PANOSTUSASTE, kg/m	.98
KORKEUS, m	.2
PAINO, kg/reikä	.2
VARSIPANOS	
TYYPPI	KxA
LÄPIMITTA, mm	22
PANOSTUSASTE, kg/m	.42
KORKEUS, m	.6
PAINO, kg/reikä	.3
PAINO YHT, kg/reikä	.5
OMINAISPORAUS, pom/m3	2.721
OMINAISPORAUS, pom/ton	1.008
OMINAISPANOSTUS, kg/m3	.68
OMINAISPANOSTUS, kg/ton	.25
KESKILOHKAREKOKO, m	.24
* KENTTÄTIEDOT	
KENTÄN LEVEYS, m	6.3
KENTÄN SYVYYS, m	2.1
RIVIEN LUKUMÄÄRÄ	3
REIKÄMÄÄRÄ/RIVI	10
REIKÄMÄÄRÄ/KENTTÄ	30
PORAMETRIÄ/KENTTÄ	55
* KENTÄN TILAV, m3	20
* KENTÄN MASSA, ton	55
* RÄJÄINEMÄÄRÄT	
(ton/kenttä)	
FORDYN Pap 29x200	0.01
Kemix A pp Putki 22x1000	0.01
Yhteensä	0.01

VA/MS

sytytysuunnitelma

Vaihtoehtol

Hakaniemen huoltotunneli

Täkkäys raskaat kumimatot kasinkerroin 3m reunojen yli



## Liite 5. Mittausraportti nro.51: Forcit Consulting Oy

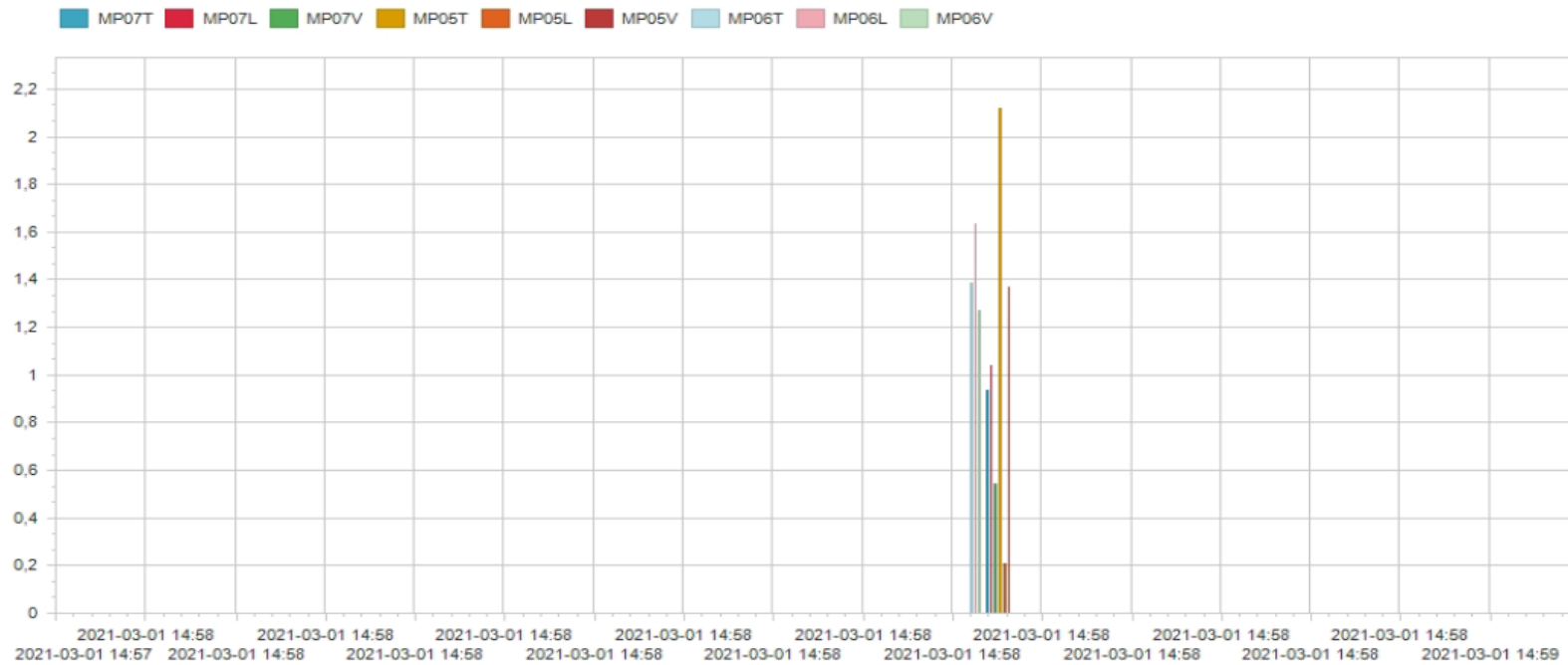
(1/2)



202888  
 Hakaniemen kauppahallin huoltopiha, Helsinki  
 Mittausraportti

Mittausjakso 2021-03-01 14:58:00 - 2021-03-01 14:59:00

Kommentti: 1.3.2021 N. KLO. 15.00 RÄJÄYTYS NRO.51



## Liite 5. Mittausraportti nro.51: Forcit Consulting Oy

(2/2)

Nimi	Osoite	Aika	Ohjearvo	tulos	m/s <sup>2</sup>	Siirtymä	Hz	Etäisyys	osa (%)	Osa	Räj.nro
MP07T	Sörnäisten rantatie 8	2021-03-01 14:58:38		0,94 mm/s	1,0 m/s <sup>2</sup>	1 um	172,6 hz				
MP07L	Sörnäisten rantatie 8	2021-03-01 14:58:38		1,04 mm/s	1,4 m/s <sup>2</sup>	1 um	125,5 hz				
MP07V	Sörnäisten rantatie 8	2021-03-01 14:58:38		0,54 mm/s	0,7 m/s <sup>2</sup>	1 um	201,0 hz				
MP05T	Sörnäisten rantatie 4	2021-03-01 14:58:38		2,12 mm/s	2,3 m/s <sup>2</sup>	4 um	142,5 hz				
MP05L	Sörnäisten rantatie 4	2021-03-01 14:58:38		0,21 mm/s	0,1 m/s <sup>2</sup>	0 um	96,8 hz				
MP05V	Sörnäisten rantatie 4	2021-03-01 14:58:38		1,37 mm/s	1,5 m/s <sup>2</sup>	3 um	93,5 hz				
MP06T	Sörnäisten rantatie 7	2021-03-01 14:58:37		1,38 mm/s	2,1 m/s <sup>2</sup>	2 um	262,0 hz				
MP06L	Sörnäisten rantatie 7	2021-03-01 14:58:37		1,63 mm/s	3,6 m/s <sup>2</sup>	2 um	200,1 hz				
MP06V	Sörnäisten rantatie 7	2021-03-01 14:58:37		1,27 mm/s	2,7 m/s <sup>2</sup>	2 um	288,8 hz				

