

**Oulun Hartaanselänrannan
maantieherätteen vaikutustarkastelu
(tärinä ja värähtely)
Asemakaavan muutokset 564 -
2462, 564-2522 ja 564-2525
Seloste 15.11.2021**



SISÄLLYSLUETTELO

1	YLEISTÄ	2
2	LÄHTÖTIETOJA	2
3	TÄRINÄN JA VÄRÄHTELYN ETENEMINEN MAAPERÄSSÄ	4
4	KOHTEIDEN ARVIOINTI	5
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	10
6	TIIVISTELMÄ	11
	KIRJALLISUUTTA	12

1 YLEISTÄ

Tärinäanalyysin tavoitteena on tässä kohteessa ollut arvioida liikenteen (Hietasaarentie) vaikutusta tieosuudelle asetetun (60 km/h) nopeusrajoituksen tilanteessa. Tätä varten on arvioitu vaikutusta viereiseen rakennuskantaan.

Tarkastelu on toteutettu yleisen arvioinnin ja käytettävissä olevan tiedon avulla. Laskennallinen mallinnus on tehty vain kohteeseen 2, koska kohde 1 on selkeästi epätärinäherkkä ja kohde 3 on kohteen 2 mukainen pohjasuhteiltaan ja olosuhteiltaan.

2 LÄHTÖTIETOJA

Liikenneperäisen tärinän ohjearvot perustuvat mitatun tärinän heilahdusnopeuden v taajuuspainotetun tehollisarvon perusteella tilastollisesti määritettyyn tunnuslukuun $v_{w,95}$ [mm/s]. Suositus asuinrakennusten ja niitä vastaavien asuintilojen värähtelyluokituksesta (VTT Tiedotteita 2278, 2004) on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Suositus asuintilojen värähtelyluokituksesta.

Värähtelyluokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	$v_{w,95}$ [mm/s]
A	Hyvät asuinolosuhteet. Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyä	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet. Ihmiset voivat havaita värähtelyä, mutta ne eivät ole häiritseviä.	0,11...0,15
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa. Keskimäärin 15 % asukkaista pitää värähtelyä häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.	0,16...0,30
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. Keskimäärin 25 % asukkaista pitää värähtelyä häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.	0,31...0,60

Rakenteiden perustusten vaurioalttiutta kuvataan taulukon 2 luokituksella. Esitettyjä raja-arvoja pienempien värähtelytasojen ei katsota aiheuttavan rakennuksen käyttöarvoa pienentäviä vaurioita.

Taulukko 2. Rakennusten perustusten vaurioalttiuden rajaamisessa käytettävät kriteerit /3/.

Värähtelyluokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	Heilahdusnopeuden huippuarvo v_{max} [mm/s]	Tunnusluku $v_{rms,95}$ [mm/s]
V	Kohonneen tärinäalttiuden alue Rakenteiden vauriot mahdollisia	$\geq 3,0$	$\geq 5,0$
H	Vähäisen tärinäalttiuden alue Rakenteiden haitat mahdollisia	$\leq 3,0$	$\leq 5,0$
E	Rakenteiden vaurioriski epätodennäköinen	$\leq 1,0$	$\leq 1,6$

Tärinän tuottamaa haittaa asumismukavuudelle maankäytön suunnittelussa arvioidaan tunnusluvun perusteella. Tämä perustuu yksittäisten liikennetapahtumien suurimpiin värähtelyn tehollisarvoihin ja näiden perusteella laskettuun keskiarvoon sekä hajontaan siten, että $v_{rms}'95$ on viidentoista suurimman yksittäisen tapahtuman keskiarvo lisättyinä 1.8 kertaa viidentoista suurimman yksittäisen tapahtuman hajonta.

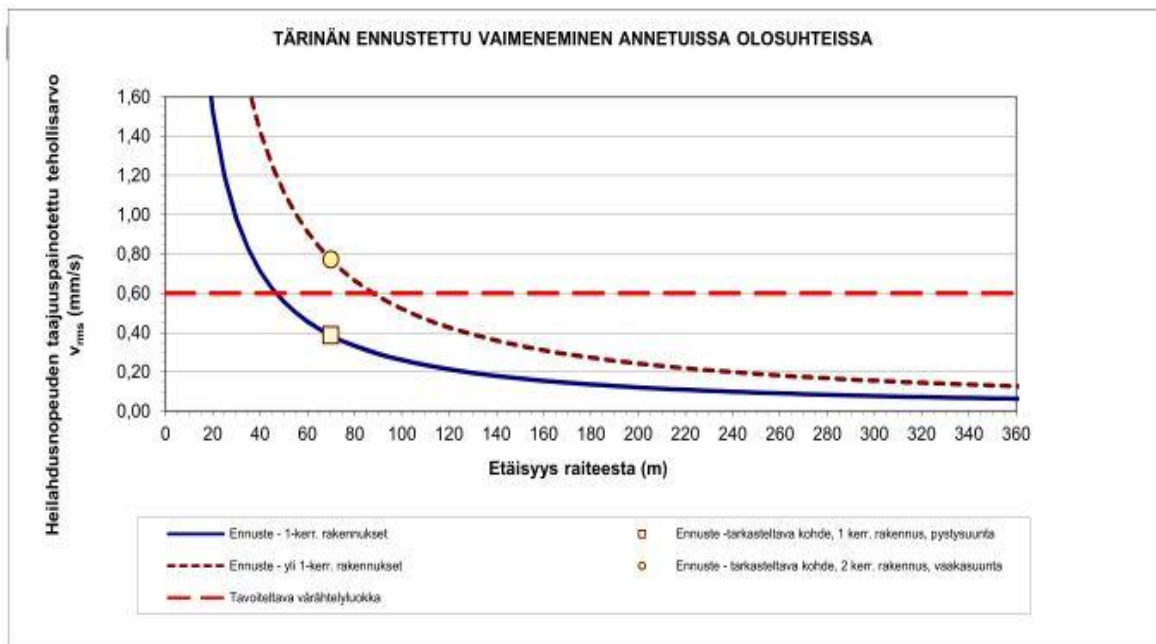
3 TÄRINÄN JA VÄRÄHTELYN ETENEMINEN MAAPERÄSSÄ

Tarkasteluun on valittu avaussivun kuvan mukaiset kohdat Hietasaarentien alueella. Kyseisten tarkastelukohtien otaksutaan edustavan keskimääräistä ongelma-aluetta, jossa lähimmät asuinkäytössä olevat talot sijaitsevat vain muutaman kymmenen metrin etäisyydellä tielinjasta. Avaussivun kuvasta ilmenee myös maankäytön kaavoitus tarkastelun pohjaksi.

Tärinähaitat on otettava huomioon yhdyskuntasuunnittelussa. Liikennetärinä voi olla asuinrakennusten lisäksi häiritsevää esimerkiksi julkisissa tiloissa, joissa on tärinäherkkiä laitteistoja. Valitusten lisääntyminen voi olla seurausta esimerkiksi liikenteellisistä muutoksista tien rakenteissa tapahtuneista muutoksista sekä myös ilmastollisista sääolosuhteista, kuten roudasta ja pohjaveden pinnan muutoksista. Tärinäriskiä pidetään yleensä suurehkona, mikäli maaperä koostuu pehmeistä maalajeista tai löyhistä kerroksista, kun pohjavesi on länä. Kuitenkin paikallisesti kaltevat tiiviit karkearakeiset kerrokset ja erityisesti kallio saattaa nostaa heijastusten kautta tärinän vastetta.

Tärinän heilahdusnopeudet saattavat voimistua resonanssi-ilmion vaikutuksesta. Rakennusten ja rakenteiden ominaistajuudet on syytä selvittää, jotta voidaan arvioida riskiä resonanssin esiintymiseen. Resonanssitilanteessa systeemi menettää rakenteellisen toimintakykynsä. Useimmiten kuitenkin liikenteen tuottama resonanssitilanne vaatii pitkähkön raskaan kaluston muodostaman syklistarjan (10...15 toistuvaa harmonista herätettä). Värähtelyn ominaistajuudet ja –muodot määritetään tarvittaessa dynaamisilla analyyseillä mahdollisen rakenteellisen systeemin resonanssitilanteen selvittämiseksi.

Tärinän leviäminen ympäristössä herätelähteestä on mahdollista arvioida alustavasti esimerkiksi oheisen kuvan 1 mukaisella mallilla. Kuva 1 edustaa tällaista esimerkkitapausta. VTT:n ohje ”Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa” /1, 2, 4/ esittää tällaisten ennustekäyrien arviointiperiaatetta. Arvioinnissa on kuitenkin sovellettu tämän lisäksi myös kokemuseräistä ja laskennallista taustatietoa vastaavista kohteista.



Kuva 1. Esimerkki tärinän leviämisestä tärinälähteestä ympäristöön /1, 2, 4/.

Pohjasuhteet arviointiin on valittu saatavissa olleiden maaperätietojen perusteella. On otaksuttu, että tieasfaltin alla ja asuinalueella oleva maapohja on normien mukaisia rakennekerroksia. Syvemmillä on hiekkaa ja silttistä hiekkaa sekä syvällä hiekkamoreenia. Nämä on tarkemmin eritelty luvussa 4.

4 KOHTEIDEN ARVIOINTI

4.1 LÄHTÖTIEDOT

Yleistä

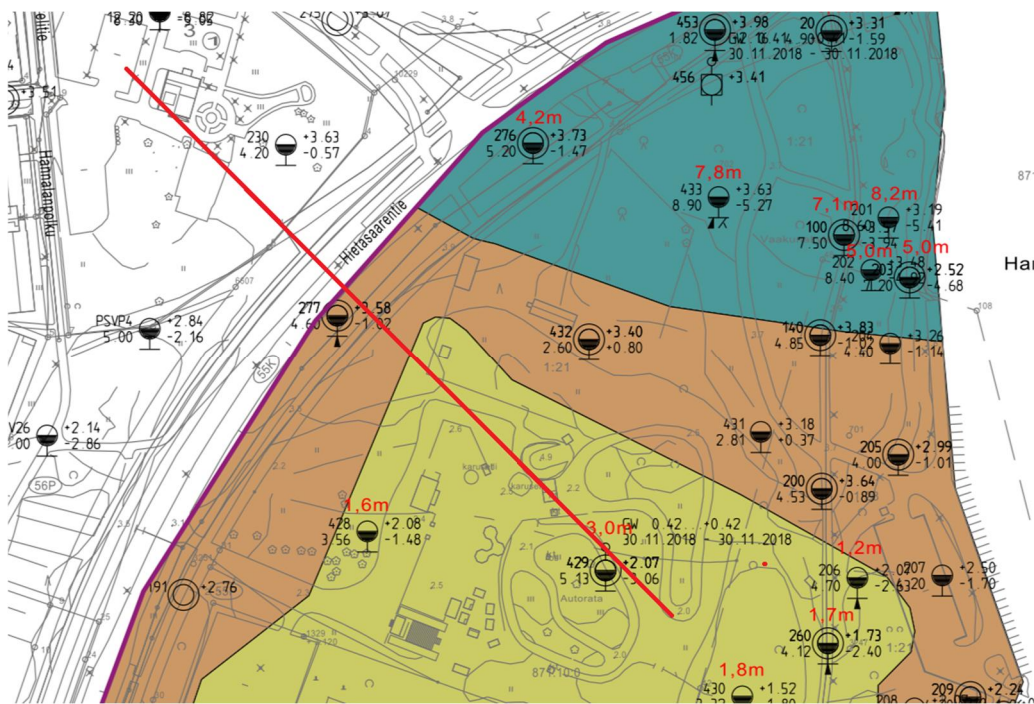
Kohteen talojen runkojäykkyys on sellaisenaan yleisesti hyvä. Rakenteet ovat pääosin betonia, joskin myös puurakentamista tullaan soveltamaan myös puurakentamista. Jäykistys oletetaan tapahtuvan hissikuilun ja osittaisen runkojäykkyyden kautta. Rakennukset on oletettu perustetuiksi tukipaalujen varaan. On oletettavaa, että hidasteita on tehty tielinjalle ainakin kohteessa olevan liikenneympyrän alueelle. Hidasteet ovat yleensä asfaltista ja ovat paksuudeltaan noin 80 mm. Lähistön uudet rakennukset ovat kerrostaloja. Liikennemäärä Hietasaarentielle on suhteellisen runsasta.

Kairaustiedoista on pääteltävissä, että löyhien kerrosten paksuus on suunnittelualueella yleisesti merkittävä. Jokainen rakennuspaikka tulee pohjatutkia tarkemmin rakennussuunnittelun edetessä ja tällöin voidaan päättää mahdollisuus maanvaraiseen perustamiseen. On kuitenkin todennäköistä rakennuskerrosluvun ollessa neljä, että paalutus tulee olemaan vallitseva perustamistapa. Näin ollen pystysuuntaiset värähtelyt tulevat hoidetuksi tätä kautta. Etäisyyden maantiehen ollessa pienekö ja tieliikenteen ollessa runsasta ja sisältäen myös raskasta liikennettä muodostuvat vaakasuuntaiset värähtelyt määrääviksi ja saattavat ylittää suositeltavat

raja-arvot asumismukavuuden suhteen (taulukko 1). Vaurioitumisriskin suhteen ei todennäköisesti viitearvoja tulla ylittämään. Tämä voidaan etukäteen selvittää lähinnä FEM-analyysin avulla. Kohteista (ks. avaussivun kuva) kohde 2 on numeerisesti analysoitu (ks. luku 4.2) heikkokojen pohjasuhteiden vuoksi.

Leikkaus 1

Kairaustiedoista on pääteltävissä, että pehmeän kerroksen paksuus on rakennettavalla alueella tien läheisyydessä ohuehko ja kauempana noin 1,2 ... 5,9 m. Tämä kerros on myös suhteellisen löyhässä tilassa. On kuitenkin todennäköistä rakennuskerrosluvun ollessa enintään neljä, että paalutus tulee olemaan vallitseva perustamistapa. Näin ollen pystysuuntaiset värähtelyt tulevat hoidetuksi tätä kautta. Rakennuskerrosluvun ollessa neljä on kuitenkin paikallisesti selvitettävä, onko maanvarainen perustaminen mahdollista. Etäisyyden maantiehen ollessa pienekö ja tieliikenteen ollessa runsasta ja sisältäen myös raskasta liikennettä muodostuvat vaakasuuntaiset värähtelyt määrääviksi ja todennäköisesti ylittävät suositeltavat raja-arvot asumismukavuuden suhteen (taulukko 1). Vaurioitumisriskin (taulukko 2) suhteen ei todennäköisesti viitearvoja tulla ylittämään.

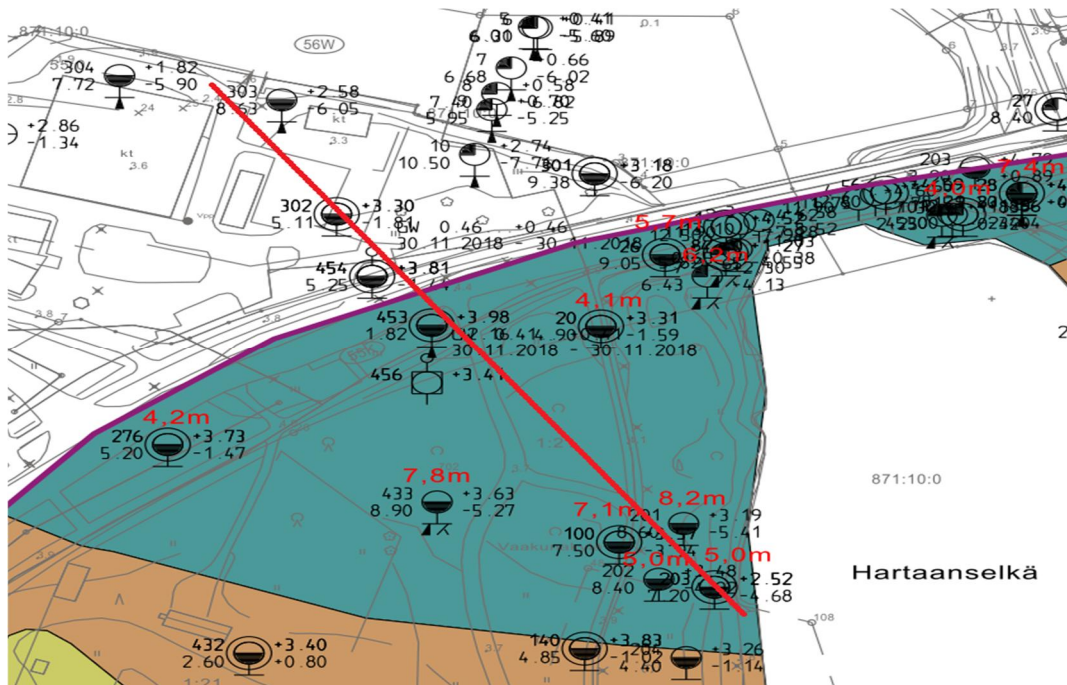


Kuva 1. Leikkaus 1.

Leikkaus 2

Kairaustiedoista on pääteltävissä, että pehmeän kerroksen paksuus on rakennettavalla alueella noin 1,4 ... 8,2 m. Tämä kerros on suhteellisen löyhässä tilassa. Maaperä on silttiä, hiekkaista silttiä, silttistä hiekkaa ja savista silttiä. On todennäköistä rakennuskerrosluvun ollessa neljä, että paalutus tulee olemaan vallitseva perustamistapa. Pystysuuntaiset värähtelyt tulevat siten hoidetuksi tätä kautta. Etäisyyden maantiehen ollessa pienekö ja tieliikenteen ollessa runsasta ja sisältäen myös raskasta liikennettä muodostuvat vaakasuuntaiset värähtelyt määrääviksi ja todennäköisesti ylittävät suositeltavat raja-arvot asumismukavuuden suhteen (taulukko 1).

Vaurioitumisriskin suhteen ei todennäköisesti viitearvoja tulla ylittämään. Rakennuksen lattioiden pystyvärtely saattaa myös muodostua ongelmaksi.



Kuva 2. Leikkaus 2.

Leikkaus 3

Kairaustiedoista on pääteltävissä, että pehmeän kerroksen paksuus on rakennettavalla alueella tien läheisyydessä ohuehko. Tämä kerros on suhteellisen tiiviissä tilassa. Rakennuskerrosluvun ollessa neljä on kuitenkin paikallisesti selvitettävä, onko maanvarainen perustaminen mahdollista. Pystysuuntaiset värähtelyt saattavat olla tien läheisyydessä kuitenkin ylisuuria viitearvoihin nähden. Etäisyyden maantiehen ollessa pienekkö ja tieliikenteen ollessa runsasta ja sisältäen myös raskasta liikennettä muodostuvat vaakasuuntaiset värähtelyt määrääviksi ja todennäköisesti ylittävät suositeltavat raja-arvot asumismukavuuden suhteen (taulukko 1). Vaurioitumisriskin suhteen ei todennäköisesti viitearvoja tulla ylittämään. Tässä tilanteessa suositellaan tarkemman FEM-analyysin soveltamista tilanteen ennakoimiseksi tien läheisyyden ja merkittävän heräte-energian vuoksi. Rakennuksen lattioiden pystyvärtely saattaa myös muodostua ongelmaksi.



Kuva 3. Leikkaus 3.

4.2 FEM-ANALYYSI, KOHDE 2

Suunnittelualueeseen kohdistuvaa tärinää on tarkasteltu FEM-laskennan tulosten perusteella. Laskennallisessa tarkastelussa tärinän herätteen (lähtötaso) värähtelytaso on arvioitu raiteilla liikennöivän junavaunun akselipainon ja nopeuden perusteella.

Värähtelyn etenemisen laskennassa on otettu huomioon alueen maaperäolosuhteet, rakennusten perustamistapa, mallinnetun rakennuksen ominaisuudet ja tarkasteltavan pisteen korkeusasema (kerros) suunnitellussa rakennuksessa. Lisäksi laskennassa on huomioitu kaluston ns. lovipyöräheräte, joka aiheuttaa normaalia voimakkaampia tärinän lähtötasoja, jolloin niiden vaikutus voi olla 5...10-kertainen normaalin kaluston aiheuttamaan herätteeseen verrattuna.

Pohjasuhteiden arvioinnissa on käytetty alueen maaperätietojen perusteella muodostettua geoteknistä poikkileikkausta.

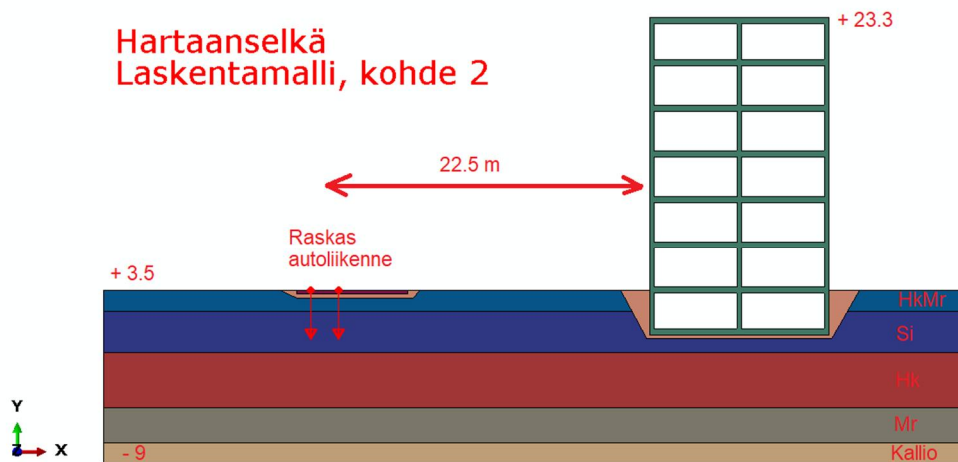
Tarkastelun laskennat olivat luonteeltaan dynaamisia ”pakkovärähtelyanalyysinä”. Mallissa materiaalikäyttäytyminen on lineaarista ilman myötöehtoa. Laskentaelementin koko valittu siten, että jokaisen elementin dimensiot vastaavat suurinta muodostuvaa tärinän aallonpituutta. Tärinän vasteita on havainnointu rakennuksen eri kerroksissa.

Dynaamisissa analyysissä raitiotien kiskoja kuvaaviin solmuihin kytkettiin arvioidun tärinäimpulssin mukainen kuorma-amplitudi. Laskennassa käytetyn kuorman amplitudi on saatu empiirisen mittaustiedon perusteella, jossa on otettu huomioon akselipaino ja lovipyöräefekti. Laskennan aikajaksoksi valittiin 1 s, koska vasteen suppeneminen on tällöin jo havaittavissa. Nopeutena käytettiin 80 km/h ja akselipainoa 20 tonnia.

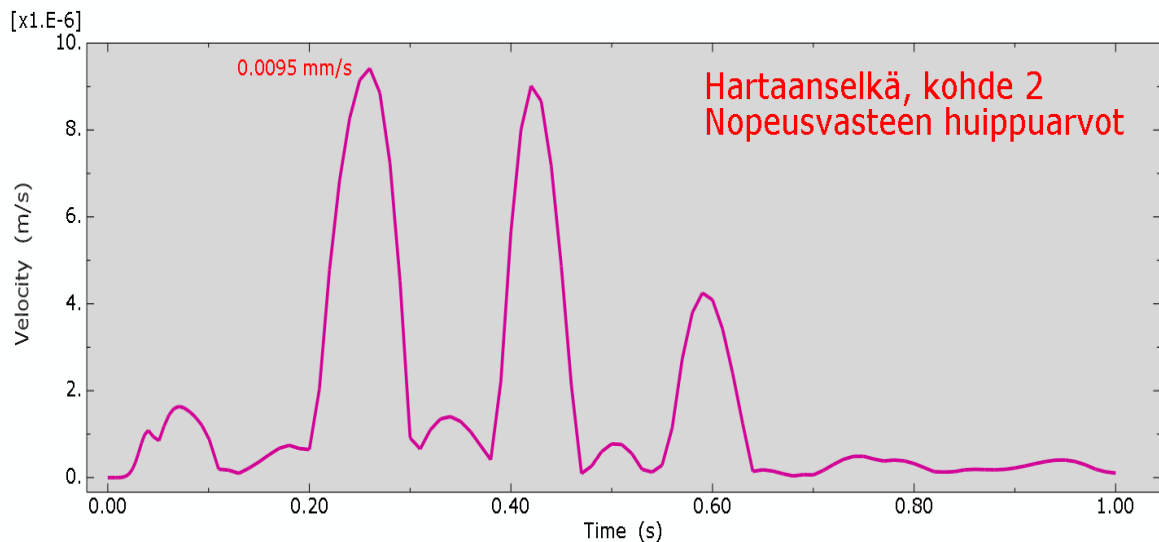
Laskennan mallipoikkileikkaus (yksinkertaistettu runkojäykkyys) on kuvattu elementtimenetelmällä käyttäen 2D-solid –tyyppisiä lineaarisia elementtejä, joiden DOF –luku

on 2 kpl solmua kohden (translaatiovapausasteet). Mallin koko oli $\text{DOF} = 24500$. Mallin reunat ja pohja ovat reunaehdoiltaan energiaa absorboivat. Rakennuksen jäykistyksen oletetaan tapahtuvan hissikuilun ja osittaisen runkojäykistämisen kautta. Rakennus perustetaan kovaan pohjaan ulottuvilla betonipaaluilla. Mallin tukipaaluuperustus pehmeiköstä johtuen on toteutettu muodostamalla elementaariset sidosyhtälöt rakennuksen alapinnan (vastaavien kohtien) ja alimman maakerroksen välille (kuva 2).

Kuvan 4 malli on tehty betonirakenteiselle rungolle. Puurunkoinen rakennus on hieman epäedullisempi kevyempänä rakenteena, mutta tulosten perusteella tällä ei ole merkitystä vasteiden alittuessa molemmissa tapauksissa.



Kuva 4. Laskentamalli, kohde 2.



Kuva 5. Dynaaminen nopeusvaste, vastekäyrästä huippuarvokuvaaja. Tehollinen vertailuarvo ($v_{w,95}$) on puolet laskennallisesta huippuarvosta.

Laskennallisen tarkastelun tuloksena on esitetty rakennukseen kohdistuvien värähtelyn vaakaja pystysuuntaisten nopeuskomponenttien (kuva 5) kehittyminen tarkkailupisteissä, joita on kunkin kerroksen tasalla edustavissa pisteissä. Näiden perusteella voidaan todeta seuraavaa:

Värähtelylaskennan tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava seuraavat seikat:

- lasketut tulokset edustavat heilahdusnopeuden maksimiarvoja (V_{\max}). Ohjearvoon verrannollinen värähtelyn nopeuden vertailuarvo $v_{w,95}$ on noin 50 % värähtelyn maksimiarvosta.
- nykyisen suunnitelman mukaisen massoittelemisen lyhin etäisyys tärinää mitoittavaan tiekaistaan on noin 22.5 metriä, rakennuksen leveys oli 14 m ja korkeus 17 m. Nopeutena raskaalle ajoneuvolle on käytetty 60 km/h ja akselipainona 17 tonnia. Oletuksena tienpinnalle pientä epätasaisuutta.
- laskennallisen tarkastelun perusteella värähtelyn maksimitasot laskentapisteissä ovat suurimmillaan noin 0.01 mm/s (kuva 3). Tarkastelujakson (1 s) aikana on nähtävissä värähtelyn vaimentuminen. Suositeltuun ohjearvoon (0,3 mm/s) verrannollinen tulos ($v_{w,95}$) on 0,005 mm/s ja alittaa siten suositusarvot.

4.3 HAVAINTOJA

Rakennusten sijainnin suhteen voidaan nopeuksien vasteista yleisesti havaita, että ne pienenevät vaimennuksen vaikutuksesta etäisyyden kasvaessa kuormituspisteestä. Rakennuksen kohdalla pystykomponentit, joista sovelletaan ns. tehollisarvoa, ovat luultavasti riittävän pieniä luokituksen saamiseksi luokkaan C. Nopeudet ovat suurimmillaan kuormituspisteessä, jossa pystykomponentit ovat luonnollisesti hallitsevia. Pääosin inertiaivaikutuksista johtuen havaitaan myös yleisesti maamassan aaltoilua. Kauempina herätekohdasta (maantie) havaitaan vaakasuuntaisten komponenttien suhteellisen osuuden selkeää kasvua. Tämä on yleensä hoidettava rakenteellisin ratkaisuin.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tarkastelussa on arvioitu tehtävämäärittelyn mukaisesti ihmisen tärinänä tunteman värähtelyn tasoa ja vaimentumista tien läheisyydessä. Pyrkimyksenä oli tarkastella tien vaikutusta kohtaan suunniteltuihin rakennuksiin.

Voidaan arvioida, että normikuntoisella tiellä alueen nopeusrajoitus on sopiva, mutta toisaalta selkeä yläraja. Tielinjalla olevat mahdolliset epätasaisuudet tai hidastinkorokkeet aiheuttavat yksittäisten impulssien huomattavaa kasvua, joskin hidasteilla pyritään ehkäisemään yksittäisten ylinopeustapausten syntyminen.

Arvioinnin perusteet ilmentävät vain kuorman dynaamista osaa. Edelleen voidaan todeta, että tärinän luonnollinen vaimeneminen etäisyyden kasvaessa herätepisteestä on yleensä selkeästi havaittavissa.

Herätteen osalta on sovellettu vain yhtä arviointimallia, eikä herkkyysanalyysiä tämän suhteen ole tehty lähtötietojen puutteellisuuden vuoksi. Todellinen heräte teillä muodostuu kohinana kompleksisen systeemikonaisuuden (tierakenne – ajoneuvorakenne – akselirakenne yms.) tuottamana eri harmonisten värähtelyjen sekamuotosarjana.

Arvioinnin perusteella voidaan päätellä, että kohteessa on mahdollisuus käyttää hidastinkoroketta liikenteellisten vaikutusten hillitsemiseksi. Tällöin ei todennäköisesti ylitetä tärinän suhteen kriittistä raja-arvoa ihmisen tunteman ja asumismukavuuteen vaikuttavan liikenneperäisen värähtelyn osalta (taulukko 1). Voidaan myös arvioida, että rakennusten kohdalla pystykomponentit, joista sovelletaan ns. tehollisarvoa, ovat riittävän pienet luokituksen saamiseksi luokkaan C. Tilanne on samankaltainen muissa tarkasteltavissa kohdissa. Kuitenkin tulee todeta, että todennäköisesti vaakakomponentit saattavat ylittää luokan C asumismukavuuden suhteen.

Koska vaurioitumisalttiudelle asetetut viitearvot tärinän ja värähtelyn osalta eivät missään kohtaa ylity, Hartaanselänrannan asemakaavakarttaan ei tarvitse laittaa tärinään liittyen erillistä kaavamerkintää tärinän huomioon ottamiseksi alueen jatkosuunnittelussa.

6 TIIVISTELMÄ

Tarkastelussa on arvioitu laskennallisesti tieliikenteen aiheuttaman värähtelyn etenemistä, vaimentumista ja ihmisen tärinänä tunteman värähtelyn tasoa. Arvioituja värähtelytasoa on verrattu tärinälle annettuihin suositusarvoihin.

- Arvoitujen värähtelyvasteiden perusteella on havaittavissa, että kohteessa esiintyvät tärinän vasteet alittavat asumisviihtyisyydelle asetetut suositukset. On pääteltävissä, että kriittiset vasteet alittavat viitearvot koko alueella koskien myös puurunkoisia rakennuksia. Vaurioitumisalttiudelle asetettu viitearvo (taulukko 2) ei siten myöskään ylity.
- Pystysuuntainen värähtely voidaan vaimentaa perustusratkaisujen avulla ja vaakasuuntainen värähtely rakenteellisten ratkaisujen avulla. Paalujen yläpäihin mahdollisesti tehtävien vaimentimien vaikutusta ei ole huomioitu. Yleisesti on nähtävissä, että vaakasuuntainen värähtely on selkeästi suurempaa, kuin pystysuuntainen.
- Kohteen rakennesuunnittelussa tulee ottaa huomioon jännemitoiltaan pitkiin joustaviin lattiarakenteisiin liittyvä tärinärisä.
- Tarkastelussa ei ole otettu huomioon rakennuksiin mahdollisesti sijoitettavia teknisiä laitteita ja niiden suojaamista tärinältä. Suunnittelussa tulee suunnitella tärinän vaimentamista tarkemmin, jotta tärinä ei aiheuttaisi häiriöitä teknisille laitteille.

- Koska vaurioitumisalttiudelle asetetut viitearvot tärinän ja värähtelyn osalta eivät missään kohtaa ylity, Hartaanselänrannan asemakaavakarttaan ei tarvitse laittaa tärinään liittyen erillistä kaavamerkintää tärinän huomioon ottamiseksi alueen jatkosuunnittelussa.

Mauri Koskinen

Mauri Koskinen, TkT
WSP Finland Oy

KIRJALLISUUTTA

1. VTT 2006, Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. Espoo. 46 s. Liitteitä 33 s. (VTT Working papers 50). ISBN 951 – 38 – 660 – 5. ISSN 1459 – 7683.
2. VTT 2005, Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta. Espoo. 50 s. Liitteitä 15 s. (VTT tiedotteita 2278). ISBN 951 – 38 – 6523 – 1. ISSN 1235 – 0605.
3. VTT 2001, Liikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin – vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen. Luonnos 47 s.
4. VTT 2011, Ohjeita liikennetärinän arviointiin. Espoo 35 s. Liitteitä 9 s. (VTT tiedotteita 2569). ISBN 978 – 951 – 38 – 7685 – 2. ISSN 1455 – 0865.