

VANTAAN KAUPUNKI

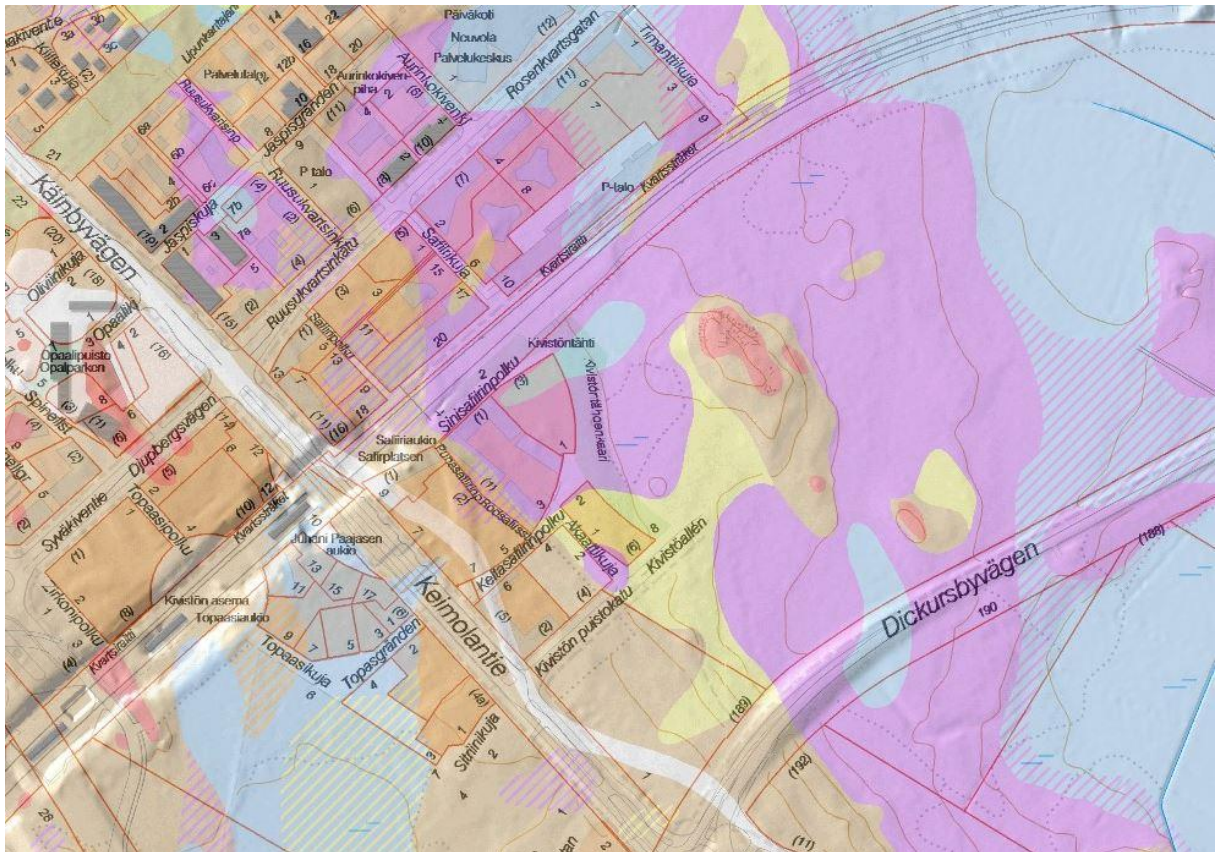
# KIVISTÖN TÄHTI

## ASEMAKAAVA NRO 232500

RAUTATIELIIKENTEEN TÄRINÄVAIKUTUKSET KEHÄ-  
RADALTA KAAVOITUSTA VARTEN

SELOSTE ALUEEN TÄRINÄARVIOINNISTA

23.11.2018



WSP PROJEKTINUMERO 311082

REV: 0





23.11.2018

---

## Sisällysluettelo

1	Yleistä .....	4
2	Lähtötietoja.....	4
3	Kiskoliikenteen tärinät.....	6
4	Suunnitellun alueen kuvaus.....	7
5	Numeerinen analyysi .....	8
6	Yhteenveto ja johtopäätökset .....	12
	Viitteet .....	13

## 1 Yleistä

Työn tavoitteena on arvioida rautatieliikenteen värinävaikutuksia Vantaan Kivistön Tähdien kaava-alueella. Hyvänä käytäntönä kaavaselostuksissa on perusteltua ottaa huomioon seuraavaa: *Värähtelymittausten perusteella rakentamisen kannalta huomioitava värinäalue ulottuu radan varressa noin 70 ... 100 metrin etäisyydelle lähimmästä raiteesta. Näillä alueilla jatkosuunnittelussa tulee varmistaa, ettei rakennusten runko- ja välipohjarakenteiden resonanssitaajuuksia mitoiteta maaperässä esiintyvien värähtelyhuippujen kohdalle.* Tässä selvityksessä tarkastellaan vain värinävaikutuksia ja ensisijaisesti asemakaavan 232500 alueella.

Rautatieliikenteen värinävaikutusten arviointi perustuu tässä osaltaan muissa projekteissa tehtyjen vastaavien värinämittauksien tuloksiin sekä suoritettuun numeeriseen analyysiin. Arvioinnissa otetaan huomioon maaperän ominaisuudet ja raiteiden etäisyys rakennuksista. Arviointi perustuu olemassa olevaan maaperäaineistoon. Tilaaja on luovuttanut selvityksen tekijän käyttöön maaperätiedot linjauksen läheisyydestä valmiina kartta-aineistona sekä arvioidut perustamistapatiedot maastokatselmuksen havaintojen perusteella erikseen määritettyjen rakennusten osalta.

## 2 Lähtötietoja

Liikenneperäisen värinän ohjearvot perustuvat mitatun värinän heilahdusnopeuden  $v$  taajuuspainotetun tehollisarvon perusteella tilastollisesti määritettyyn tunnuslukuun  $v_{w,95}$  [mm/s]. Suositus asuinrakennusten ja niitä vastaavien asuintilojen värähtelyluokituksista (VTT Tiedotteita 2278, 2004) on esitetty taulukossa 1. Luokitus perustuu ihmisen kokeaman värinän häiritsevyyteen. Kun kyseessä on muu kuin asumistarkoitus, tavoiteraja voi olla kaksinkertainen.

Taulukko 1. Suositus asuinrakennusten ja vastaavien asuintilojen värähtelyluokituksesta (VTT 2006).

Värähtelyluokka	Kuvaus olosuhteista	$v_{w,95}$ [mm/s]
A	Hyvät asuinolosuhteet. <i>Ihmiset eivät yleensä havaitse tärinää.</i>	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet. <i>Ihmiset voivat havaita tärinän, mutta se ei ole yleensä häiritsevää.</i>	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa. <i>Keskimäärin 15 % asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.</i>	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. <i>Keskimäärin 25 % asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.</i>	$\leq 0,60$

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

Taulukko 2. Rakennusten perustusten vaurioalttiuden rajaamisessa käytettävät kriteerit (VTT 2001).

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

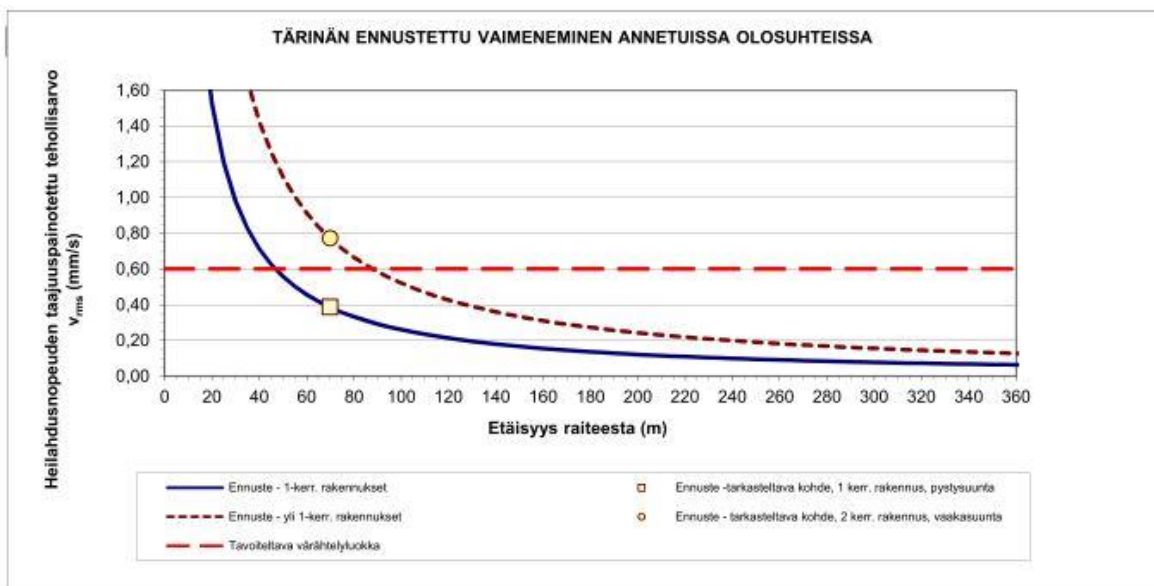
Tärinän tuottamaa haittaa asumismukavuudelle maankäytön suunnittelussa arvioidaan tunnusluvun perusteella. Tämä perustuu yksittäisten liikennetapahtumien suurimpiin värähtelyn tehollisarvoihin ja näiden perusteella laskettuun keskiarvoon sekä hajontaan siten, että  $v_{rms,95}$  on viidentoista suurimman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

### 3 Kiskoliikenteen tärinät

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 ja radan rakenteissa tapahtuneista muutoksista sekä myös ilmastollisista sääolosuhteista, kuten roudasta ja pohjaveden pinnan muutoksista. Uudet asukkaat reagoivat usein herkemmin tärinään, kuin tärinään jo tottuneet asukkaat. 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 saattavat nostaa heijastusten kautta tärinän vastetta.

Ominaistaajuudet ja –muodot määritetään dynaamisissa analyyseissä rakenteellisen systeemin resonanssitilanteen selvittämiseksi. Resonanssitilanteessa systeemi menettää rakenteellisen toimintakykynsä. Useimmiten kuitenkin junaliikenteen tuottama resonanssitilanne vaatii pitkähkön raskaan kaluston muodostaman syklistarjan (10...15 toistuvaa harmonista herätettä). Voidaan havaita, että epäedullisimmat tilanteet muodostuvat korkealla rakennuksella vaakasuuntaisiin värähtelyihin. Useimmissa rakennesysteemeissä riittää 10 alimman ominaistaajuuden määrittäminen. Tavoitteena on, että radan liikenne ei muodosta riittävän pitkää ja energialtaan korkeata herätettä näiden ominaismuotojen heräämiseksi ja tämä saattaa vaatia suojaustoimenpiteitä.

Tärinän leviäminen ympäristössä herätelähteestä on mahdollista arvioida alustavasti esimerkiksi oheisen kuvan 1 mukaisella mallilla. Malli on kuitenkin ns. yleisennusteellinen ja antaa karkean vastemäärityksen tasa-aineisessa maaperässä, mikäli kuvaajan yksittäinen piste on sidottavissa todelliseen arvioon. Kuva 1 edustaa tällaista esimerkitapausta. VTT:n ohje ”Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa” /1/ esittää tällaisten ennustekäyrien arviointiperiaatetta.



Kuva 1. Esimerkki tärinän leviämisestä tärinälähteestä ympäristöön /5/.

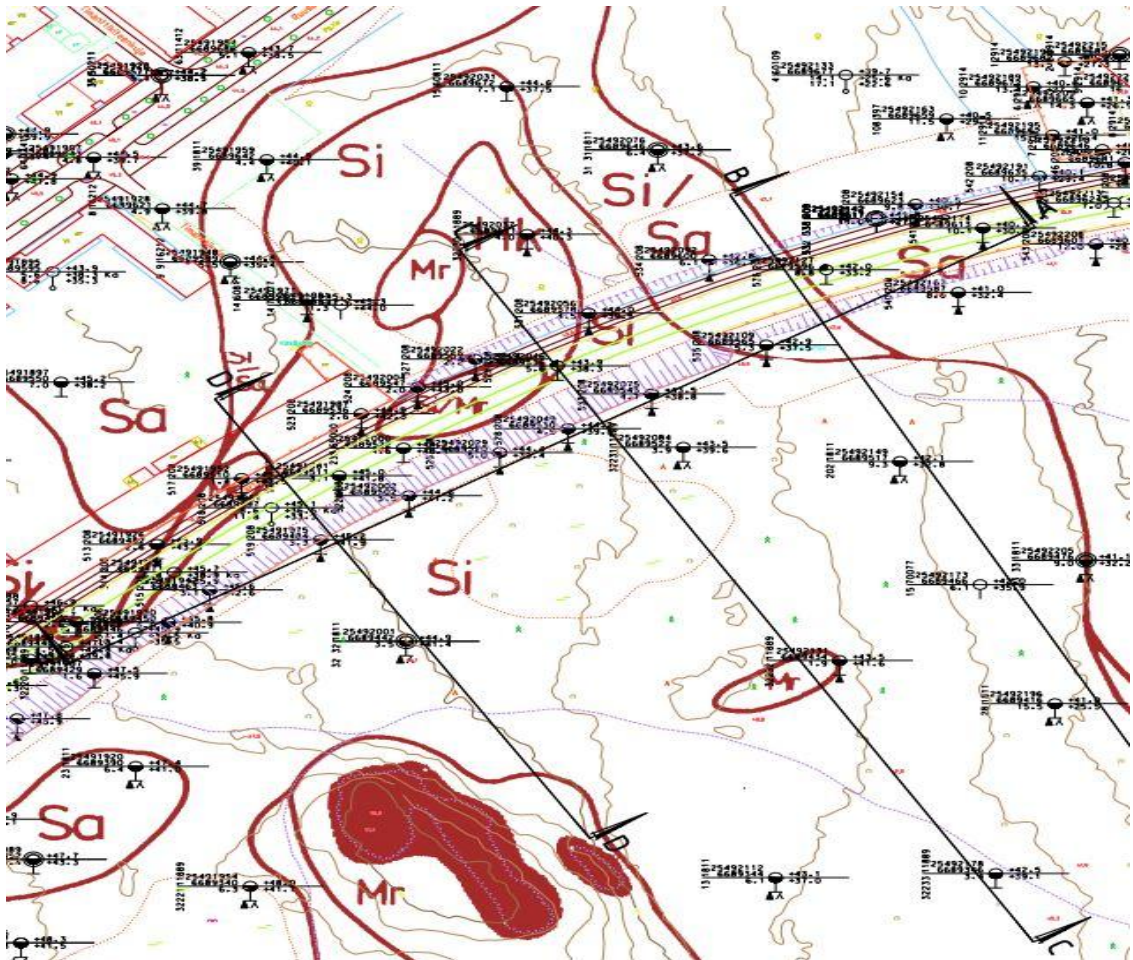


## 4 Suunnittelun alueen kuvaus

Alue sijaitsee Vantaan alueella Kivistössä (kuva 2) Keimolantien ja Kehäradan yhdysalueella. Maanpinta vaihtelee Kehäradan kohdalla noin tasolla +45. Tarkastelukohdan alueella Kehäradan luoteispuolella on olemassa oleva pysäköintitalo. Alueen karkea yleiskuva (Vantaan karttapalvelu) on esitetty raportin aloitussivulla.

Rakennuspaikka on neitseellistä metsäistä aluetta, jossa on myös pienehkö avokallioalue. Maanpinnan korkeus rakennuspaikalla on noin tasolla +48 ja kohoaa ylimmillään kaakkoiskulman kallioalueen kohdalla noin tasolle +55.

Kallioaluetta lukuun ottamatta muualla tontin alueella pinnassa olevan täytekerroksen alla on kairausten mukaan hiekkaista silttiä, silttistä hiekkaa, hiekkamoreenia, silttiä tai savea ja näiden alla kallio. Siltin alla on kallio noin tasolla +37.



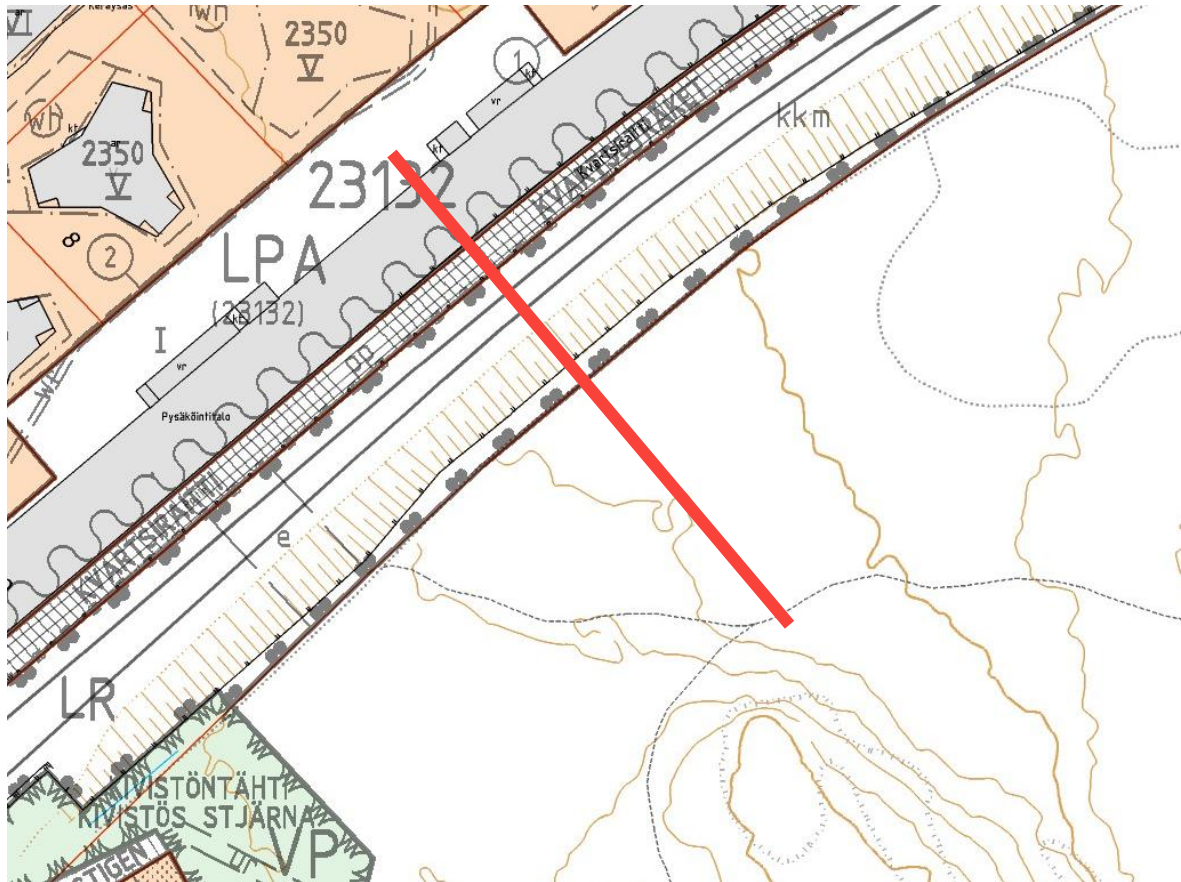
Kuva 2. Maastokartta, pohjasuhteiden yleinen luokitus alueella (karttaote Vantaan Kaupunki).

Kehäradalla on runsasta rautatiekalustoliikennettä, rahtiliikennettä ei kuitenkaan kulje. Pääasiallinen liikennöintikalusto on tyyppiä Sm5 (Flirt-juna) akselipainoltaan noin 13 tonnia. Nopeusrajoitus on 120 km/h, mutta aseman läheisyys hidastaa laskentaleikkauksen kohdalla vallitsevia nopeuksia. Pysäköintirakennus on sijoitettu lähimmillään noin 4 m etäisyydelle kiskotuksesta.

## 5 Numeerinen analyysi

Kattavan tärinän vaikutusarvioinnin tuottamiseksi kohteessa on tarpeellista tehdä numeerinen laskenta. Laskentakohdaksi valittiin Kehäradan kohtaa km 18+850 edustava leikkaus (kuva 3). Taustalla on tarve ottaa huomioon rakennuskanta analyysin yhteydessä, koska tärinän vaste muodostuu erilaiseksi mitattaessa sitä luonnontilaisessa maaperän kohdassa ilman kohteeseen tulevaa rakennusta. Lisäksi vastetta dominoi pitkällä aikavälillä ns. lovipyöräheräte, jonka vaikutus on normikaluston tuottamaan vasteeseen 5...10 kertainen.

Pohjasuhteet arviointiin on valittu saatavissa olleiden maaperätietojen perusteella. Tarkastelussa on käsitelty kohdittain paikalliset pohjasuhteet ja empiirisen, kirjallisen sekä laskennallisen tiedon pohjalta arvioitu vastaavassa kohdassa esiintyvä värähtelyn eteneminen.



Kuva 3. Laskentapaikkileikkauksen kohta km 18+850.

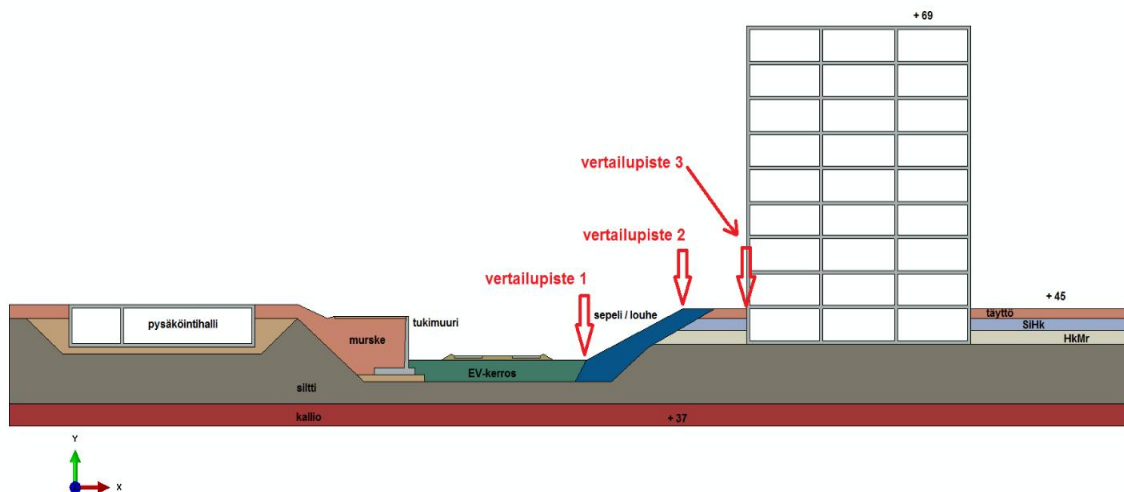


23.11.2018

Laskennan mallipoikkileikkaus (kuva 4) on kuvattu elementtimenetelmällä käyttäen 2D-solid –tyyppisiä lineaarisia tasomuodonmuutostilaelementtejä, joiden DOF –luku on 2 kpl solmua kohden (translaatiovapausasteet). Mallin koko oli DOF = 53400. Mallin reunat ja pohja ovat reunaehdoiltaan energiaa absorboivat. Laskentamallin kokonaisleveys on 105 m ja korkeus 10.4 m ilman viereisen kerrostalon osuutta. Rakennuksen leveys on 21 m ja korkeus 34.3 m mallin pohjasta lukien.

Mallinnetun talon runkorakenne on yksinkertaistettu kuvan 4 mukaiseksi. Rakenteet ovat betonia. Jäykistys oletetaan tapahtuvan hissikuilun ja osittaisen runkojäykistämisen kautta. Rakennus perustetaan kallioon tukeutuvilla tukipaaluilla. Mallin tukipaaluuperustus on toteutettu muodostamalla elementtaariset sidosyhtälöt rakennuksen alapinnan ja alimman maakerroksen virtuaalituen välille. Rakennuksen kerrosluvuksi on valittu 8 (maanpäälliset kerrokset), koska tämä antaa epäedullisimman vaikutuksen suhteessa vaihtoehtoiseen kaavoitettavaan kerroslukuun (5 maanpäällistä kerrosta). Mallissa mukana myös radan toisen puolen pysäköintitalo.

Ominaisaajuus- ja moodianalyysiä ei ole sovellettu tässä yhteydessä, koska vallitsevan kaluston – pääasiassa Flirt-tyyppiset junat akselipainoiltaan noin 13 tonnia – nopeudet ovat aseman läheisyyden vuoksi suhteellisen alhaiset. Myös junien pituudet ovat suhteelliset lyhyet.



Kuva 4. Laskentamalli (2D) rakennuksen ja ympäröivän maan yhteistoimintaan, varsinaisen tarkastelualue on mallin oikealla puolella.

Analyysissä on parametreina käytetty muodonmuutosmodulia E, suppeumalukua  $\nu$  sekä materiaalihiheyttä  $\rho$ . Lisäksi on sovellettu kerrosten vaimennuskertoimia  $\alpha$  ja  $\beta$ , jotka on arvioitu perustuen 5 % kokonaisvaimennusoletukseen sekä massan ja jäykkyyden keskinäiseen jakaumaan 1/3 ja 2/3, vastaavasti.

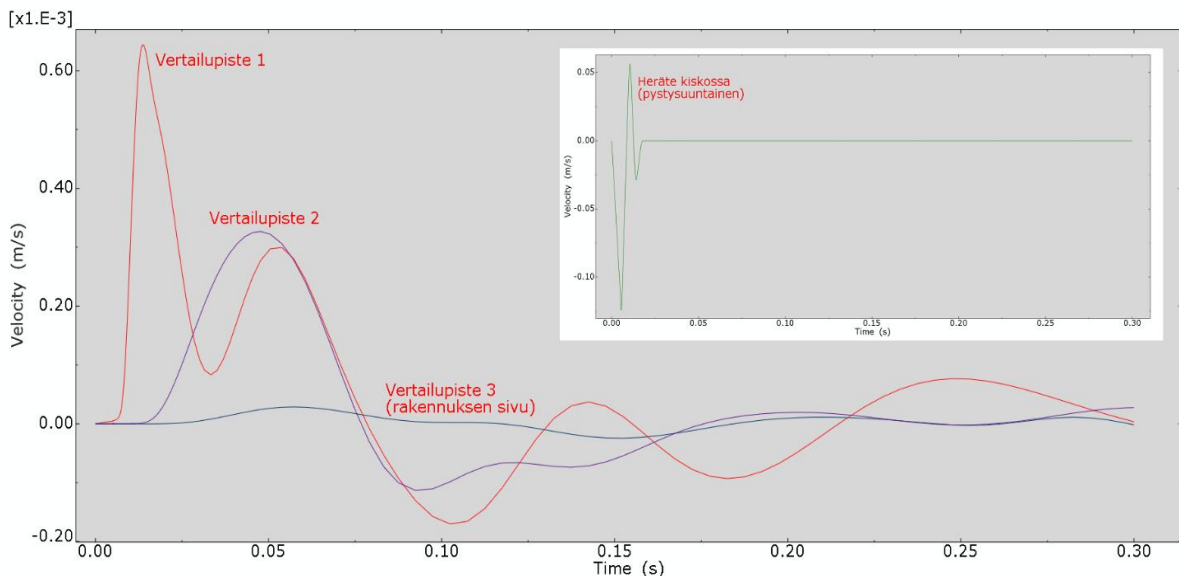
23.11.2018

Lujuusparametreja (myötöehto) ei ole määritetty dynaamisessa analyysissä pienten muodonmuutostasojen vuoksi. Laskentaohjelman käyttämät aallonnopeudet tulevat määritetyiksi ohjelmassa elastisten moduulien ja massatiheyksien perusteella (esim.  $v_p = (E / \rho)^{1/2}$ ).

Tarkastelun laskennat olivat luonteeltaan dynaamisia ”pakkovärähtelyanalyysinä”. Mallissa, jonka materiaalikäyttäytyminen on lineaarista, on elementin koko valittu siten, että jokaisen elementin dimensiot vastaavat suurinta muodostuvaa värinän aallonpituutta. Värinän vasteita on havainnointu maanpinnan tasolla yhdessä pisteessä ja rakennuksen eri kerroksissa.

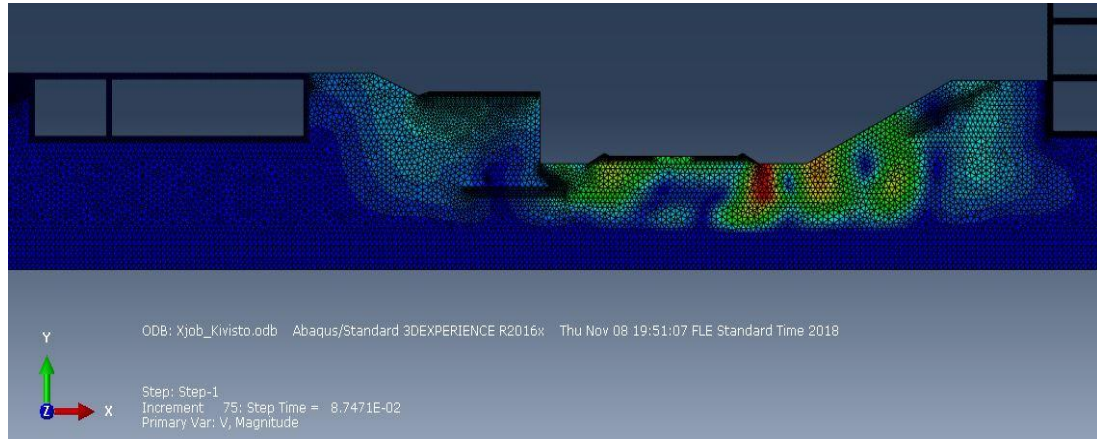
Dynaamisessa analyysissä kytkettiin rakenteen kiskoja kuvaaviin solmuihin arvioidun värinäimpulssin mukainen kuorma-amplitudi. Laskennoissa käytetty kuorman amplitudi saatiin empiirisen mittaustiedon perusteella, missä on otettu huomioon lovipyöräefektin hallitseva osuus. Koko laskentajakson pituutena on käytetty 0.3 s, missä ajassa sovelletun impulssiherätteen vaste ehtii tasaantua.

Radasta aiheutuvan nopeusvasteen tuottamat pystynopeuden komponentit tietyissä maapisteissä (herätteen ja rakennuksen välialueella) on esitetty kuvassa 5. Tarkkailupisteessä talon vieressä myös vaakasuuntaiset vasteet ovat alle VTT:n ohjeiden viitearvon. Kuva 6 esittää impulssin etenemää mallissa ajanhetkellä  $t = 0.08$  s. Voidaan havaita impulssin eteneminen pallomaisesti alaspäin ja sivuille.



Kuva 5. Maapisteiden vaakasuuntaiset nopeuskomponentit laskentajaksolla (0.3 s), vertailupisteiden sijainti ks. kuva 4. Rakennuksen vieressä vaste suurimmillaan noin 16 % vallitsevasta VTT:n viitearvosuosituksesta (0.3 mm/s) asumismukavuuskriteerin suhteen.

23.11.2018



Kuva 6. Esimerkki impulssin (resultoiva nopeus) etenemästä ajanhetkellä  $t = 0.08$  s, jolloin impulssi saavuttaa tarkasteltavan rakennusrungon.

Kuvasta 7 ilmenee mallin rakennuksen kattotason vaakasuuntaisten nopeuskomponenttien heilahdusmuoto ajanhetkellä  $t = 0.2$  s. Pystynopeuskomponentit (ei esitetty tässä) ovat myös pienehköjä johtuen pääosin tukipaaluille suunnitellusta perustamistavasta. Rakennuskorkeuden kasvaessa vaakasuuntaiset värähtelyt ovat hallitsevia, mutta tässä tapauksessa eivät vielä ylitä asetettuja viitearvoja.



Kuva 7. Rakennuksen kattotason vaakanopeuden heilahdusmuoto ajanhetkellä  $t = 0.2$  s.

Tarkastelupisteen sijainnin suhteen voidaan nopeuksien pystykomponenttien kuvaajista havaita, että ne pienenevät luonnollisesti etäisyyden kasvaessa kuormituspisteestä. Rakennuksen kohdalla pystykomponentit, joista sovelletaan ns. tehollisarvoa (noin 50...60 % tässä lasketuista enimmäisarvoista), ovat riittävän pieniä luokituksen saamiseksi luokkaan C (normaalin asumismukavuuden kriteeri /1/). Nopeudet ovat suurimmillaan kuormituspisteessä, jossa pystykomponentit ovat luonnollisesti hallitsevia. Pääosin inertia vaikutuksista johtuen havaitaan myös maamassan aaltoilua. Kauempana herätekohdasta havaitaan yleensä vaakasuuntaisten komponenttien suhteellisen osuuden selkeää kasvua. Suurim-

mat arvioidut heilahdusliikkeen resultoivat nopeusvasteet ovat noin 16 % viitearvon sallitusta rajasta.

## 6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä tarkastelussa on arvioitu tehtävämäärittelyn mukaisesti ihmisen tärinänä tunteman värähtelyn tasoa ja vaimentumista radan läheisyydessä. Tarkastelussa nähdään myös vasteiden suuruus suhteessa sallittuihin arvoihin. Tässä yhteydessä on tutkittu pysty- ja vaakasuuntaista värähtelyä, joita molempia käytetään vertailusuureina mm. VTT:n ohjeissa. Tavallisten rakennusten vaurioitumisalttiuden raja-arvona voidaan pitää 4 mm/s.

Nopeuskomponenttien (pystysuunta) vastearvion perusarvona voidaan pitää  $v = 0.3$  mm/s (ns. rms-arvo). Tämä antaa käsityksen siitä, mille etäisyydelle voidaan toteuttaa asuinkäyttöön tarkoitettavaa rakennuskantaa. On kuitenkin huomioitava, että lovipyöräheräte on ongelma, joka tuottaa joissakin tapauksissa 5...10 kertaisen impulssin normikalustoon nähden. Tässä tehtyjen laskentojen suhteen tulee todeta, että vasteet ovat huippuarvoja ja yleisesti käytetty (vrt. taulukko 1) hyväksyttävä taso on noin 60 % huippuarvoista. Vasteissa on luonnollista aaltoilua mm. heijasteista sekä maan epähomogeenisuudesta johtuen.

Kuvista 5 ... 7 ilmenee laskennallisten vasteiden yleinen taso. Voidaan havaita, että vasteet – joita tässä tarkastellaan heilahdusliikkeen komponenttien kautta – ovat varsin kohtuulliset ja siten viitearvojen alapuolella. Tässä laskennassa sovellettu rakennus edustaa alueelle muodostuvaa todennäköistä rakennuskantaa ja rakennukset tulevat olemaan tukipaaluille perustettuja, jolloin erityisesti pystykomponentit ovat hallinnassa tätä kautta. Edelleen voidaan todeta, että rakennuskorkeus on siinä määrin pieni, että myöskään vaakasuuntaiset värähtelyt eivät muodostu ongelmaksi. Esitetty arvio on tärkeä tunnistaa, mikäli rakennuksessa tulisi olemaan herkkiä laitteistoja. Oheistulemana analyysistä voidaan radan luoteispuolella sijaitsevan pysäköintitalon osalta todeta, että pystysuuntaiset heilahdusliikkeen vasteet ovat noin 3...4 % suositellusta ei-asumiskäyttöön tarkoitetun rakennuksen viitearvosta (0.6 mm/s).

Arviointiin liittyviä epävarmuustekijöitä ovat vajavaiset tiedot rakennuksen rakenteellisista yksityiskohdista, kuten jäykistys, perustamistapa. Näillä voi olla vaikutusta rakennuksessa koettavaan tärinään. Tärinän vaikutuksia arvioitaessa mallinnuksen avulla voi olla perusteltua hieman ylikorostaa yksittäisiä vaikutteita johtuen epävarmuustekijöistä. Jännemitoitetaan pitkät ja joustavat lattiarakenteet voivat pitkien junien vaikutuksesta resonoidessaan aiheuttaa merkittävää tärinäefektiä rakennuksessa.

## Mauri Koskinen

Mauri Koskinen, Tkt  
WSP Finland Oy



## Viitteet

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, Rautatieliikenteen 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.
5. Centra Hämeenlinna, Tärinäselvitys. Joulukuu 2011.