

TILAAJA: SOK KIINTEISTÖT OY

RAIDE- JA KATULIIKENTEEEN TÄRINÄVAIKUTUKSET RAKENNUKSIIN

ESPOON KERAN ALUE (ETELÄINEN)

3.10.2019



PROJEKTI 312639

Kuva: Rakennusalue

Sisällysluettelo

1. Yleistä	3
2. Lähtötietoja.....	4
3. Kiskoliikenteen tärinät.....	5
4. Suunnitellun alueen kuvaus.....	6
5. Numeerinen analyysi	8
6. Yhteenveto ja johtopäätökset	9
Kirjallisuutta.....	10

1. Yleistä

Työn tavoitteena on arvioida raide- ja katuliikenteen värinävaikutuksia Espoon Keran alueella uuteen rakennuskantaan. Hankkeen tilaajana on SOK Kiinteistötoiminnot. Alue kohdentuu radan eteläpuolelle. Suunnitteluhankkeen pyrkimyksenä on uudistaa kokonaisuudessaan alueen infraympäristö.

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 resonanssitajuuksia mitoiteta maaperässä esiintyvien värähtelyhuippujen kohdalle.* Tässä selvityksessä tarkastellaan vain värinävaikutuksia ja vain kohteen radan puolisella alueella.

Rautatieliikenteen värinävaikutuksien arviointi perustuu tässä osaltaan muissa projekteissa tehtyjen vastaavien värinämittauksien tuloksiin. 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 tarvittaessa perustamistap tiedot maastokatselmuksen havaintojen perusteella erikseen määritettyjen rakennusten osalta.



Kuva 1. Tarkasteltava alue, SOK Kiinteistötoiminnot (vihreä väritys).

2. Lähtötietoja

Liikenneperäisen tärinän ohjearvot perustuvat mitatun tärinän heilahdusnopeuden v taa-juuspainotetun 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. Luokitus perustuu ihmisen kokeman tärinän häiritsevyyteen. Kun kyseessä on muu kuin asumistarkoitus, tavoiteraja voi olla kak-sinkertainen.

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

Värähtely-luokka	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. Esitettyjä raja-arvoja pienempien värähtelytasojen ei katsota aiheuttavan rakennuksen käyttöarvoa pienentäviä vaurioita.

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

Värähtely-luokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	Heilahdus-nopeuden 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	$\leq 1,0$	$\leq 1,6$

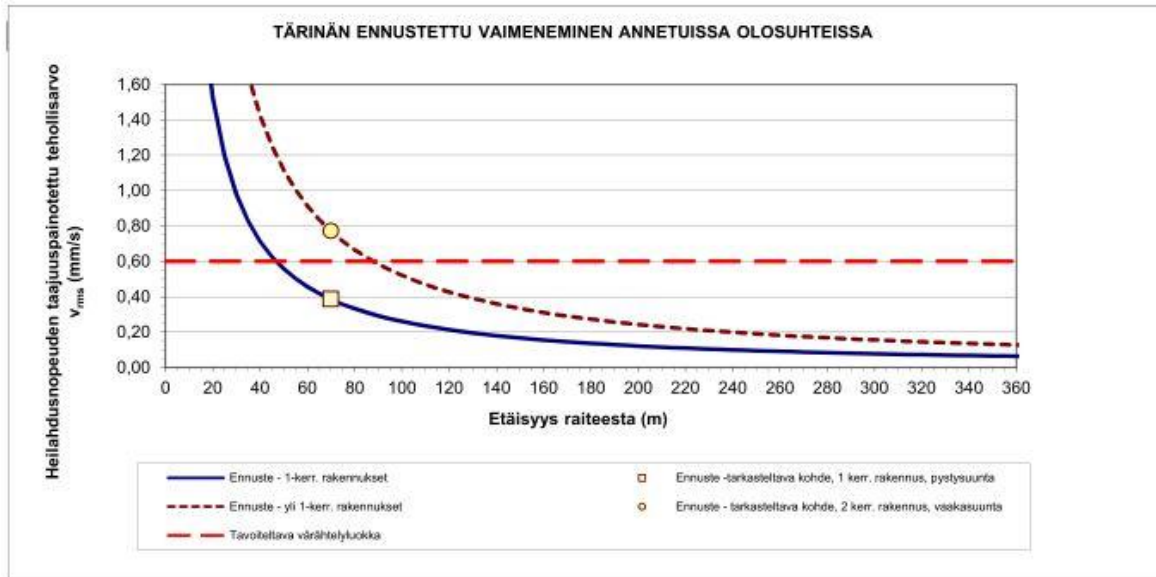
Tärinän tuottamaa haittaa asumismukavuudelle maankäytön suunnittelussa arvioidaan tunnusluvun perusteella. Tämä perustuu yksittäisten liikennetapahtumien suurimpiin värähtelyn tehollisarvoihin ja näiden perusteella laskettuun keskiarvoon sekä hajontaan siten, että $v'_{rms}'95$ on viidentoista suurimman yksittäisen tapahtuman keskiarvo lisättynä 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. Tärinäriskiä pidetään yleensä suurehkona, mikäli maaperä koostuu pehmeistä maalajeista tai löyhistä kerroksista, kun pohjavesi on läsnä. Kuitenkin paikallisesti kaltevat tiiviit karkearakeiset kerrokset ja erityisesti kallio saattaa nostaa heijastusten kautta tärinän vastetta.

Ominaistaajuudet ja –muodot määritetään dynaamisten analyysien erityistapauksissa 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. Kuva 1 edustaa tällaista esimerkkitapausta. VTT:n ohje ”Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa” /1/ esittää tällaisten ennustekäyrien arviointiperiaatetta.



Kuva 2. Esimerkki värinän leviämisestä värinälähteestä ympäristöön.

4. Suunnitellun alueen kuvaus

Alue sijaitsee Espoossa Keran alueella (kuvat 1 ja 3). Maanpinta vaihtelee +25 - +28. Alue rajoittuu pohjoispuolella päärataan ja itäpuolella Karantiehen. Alueella on ikääntyvää rakennuskantaa (kuva 3).

Tontilla maanpinnassa on nykyisen rakennuksen alueen rakennekerroksia. Kalliota ei esiinnyt paljastuneena. Tontin alueella pinnassa olevan täytekerroksen alla on pääosin savea ja silttiä usean metrin paksuinen kerros. Saven alla on kalliota peittävä ohuehko tiiviimpi kerros. Paino- ja puristin-heijarikairaukset ovat päättyneet kiviin, kallioon tai tiiviiseen maakerrokseen. Kallion pinta (varmennettu) on alimmillaan noin tasolla +9.5 – +14.5.



Kuva 3. Espoon Kera-hankkeen tarkasteltava nykyinen alue (karttaote Google Maps).

Karantien katuosuudella on vilkasta kaksisuuntaista auto-, bussi-, kuorma-autoliikennettä. Nopeusrajoitus on 60 km/h. Ajouradan kunto on hyvä.

Rakennuksia (arkkitehtiluonnokset, kuva 5) on sijoitettu lähimmillään pohjoisessa noin 12 - 15 m etäisyydelle pääradasta (raiteen keskilinjasta). Tämä koskee myös idässä rakennusten etäisyyttä tiestä (keskilinja).



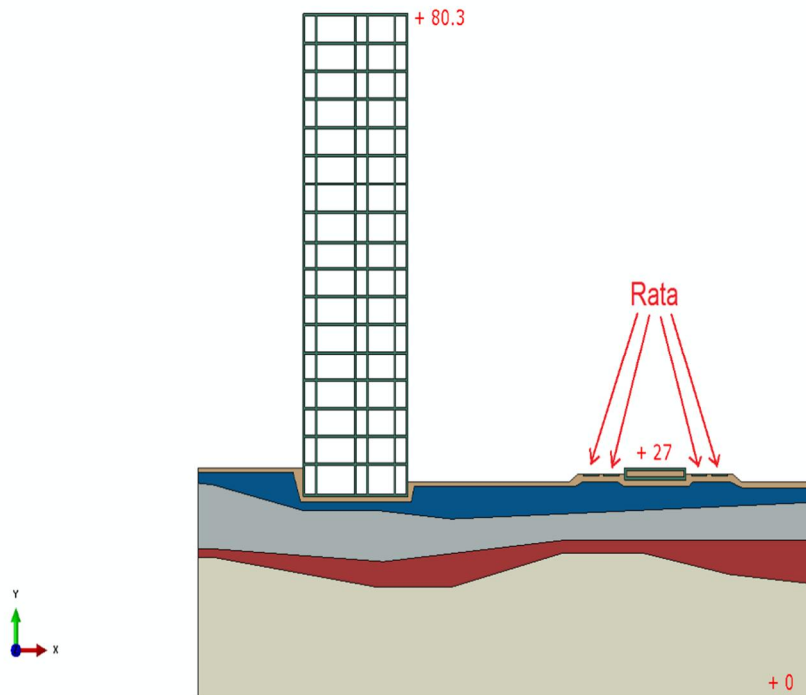
Kuva 5. Arkkitehtiluonnos Kera eteläinen.

5. Numeerinen analyysi

Tärinän vaikutusarvioinnin tuottamiseksi kohteessa ei ole tehty numeerista laskentaa. Tämä perustuu lähialueella suoritettuihin vastaaviin laskentoihin, joissa olosuhteet (pohja-suhteet ja rakennuskanta) ovat vastaavat. **Ohessa** on *kursiivilla* esitetty alueen pohjoisreunaa hyvin edustava laskentamalli ja sen periaatteet, joihin tässä raportissa arvioitujen värähtelyvasteiden suuruusluokka perustuu.

Yleensä laskennan 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 usein ns. lovipyyö-räheräte, jonka vaikutus on normikaluston tuottamaan herätteeseen 5...10 kertainen.

Mallinnetun talon runkojäykkyydet on yksinkertaistettu kuvan 4 mukaiseksi. Rakenteet ovat betonia. Jäykistys oletetaan tapahtuvan hissikuilun ja osittaisen runkojäykistämisen kautta. Rakennus perustetaan tukipaaluilla kallion varaan. Mallin tukipaaluuperustus on toteutettu muodostamalla elementaariset sidosyhtälöt rakennuksen alapinnan (vastaavien kohtien) ja alimman maakerroksen (kallio) virtuaalituen välille.



Kuva 4. Laskentamalli (2D), mallin leveys 100 m.

Tarkastelun laskennat olivat luonteeltaan dynaamisia "pakkovärähtelyanalyysijä". Mallissa, jonka materiaalikäyttäytyminen on dynamiikassa lineaarista, on elementin koko valittu siten, että jokaisen elementin dimensiot vastaavat suurinta muodostuvaa tärinän aallonpituutta. Tärinän vasteita on havainnoitu maanpinnan tasolla yhdessä pisteessä ja rakennuksen eri kerroksissa.

Dynaamisessa analyysissä kytkettiin rakenteen kiskoja kuvaaviin solmuihin arvioidun tärinäimpulssin mukainen kuorma-amplitudi. Laskennoissa käytetty kuorman amplitudi saatiin empiirisen mittaustiedon perusteella, jossa on otettu huomioon akselipaino ja lovipyöräefektiin hallitseva osuus.

Komponentit ovat myös pienehköjä johtuen pääosin suunnitellusta perustamistavasta (kallioon ulottuvat tukipaalut). Rakennuskorkeuden kasvaessa vaakasuuntaiset värähtelyt ovat hallitsevia, mutta tässä tapauksessa eivät vielä ylitä asetettuja viitearvoja.

Tarkastelupisteen sijainnin suhteen voidaan nopeuksien pystykomponenttien kuvaajista havaita, että ne pienenevät luonnollisesti etäisyyden kasvaessa kuormituspisteestä. Nopeudet ovat suurimmillaan kuormituspisteessä, jossa pystykomponentit ovat luonnollisesti hallitsevia. Inertiavaikutuksista ja heijasteista johtuen havaitaan myös maamassan aaltoilua. Kaudempaan herätekohdasta havaitaan yleensä vaakasuuntaisten komponenttien suhteellisen osuuden selkeää kasvua.

6. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä tarkastelussa on arvioitu tehtävämäärittelyn mukaisesti ihmisen tärinänä tunteman värähtelyn tasoa ja vaimentumista radan sekä kadun läheisyydessä. Tarkastelussa nähdään myös vasteiden suuruus suhteessa sallittuihin arvoihin. Tässä yhteydessä on primaarisesti tutkittu pystysuuntaista värähtelyä, koska tämä on ensisijainen vertailusuure mm. VTT:n ohjeissa. Mittauksia ei kohteessa ole tehty. Alueen itäpuolen Karantien liikenteen vaikutuksen alueeseen ovat pääsääntöisesti pienemmät, kuin rataliikenteestä aiheutuvat.

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.

Rakennukset tulevat olemaan paaluille perustettuja ja 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, koska rakennuksessa tulee olemaan herkkiä laitteistoja. Laitteistoyksiköiden laadun tarkentuessa on syytä tarkastaa niiden erityisvaatimukset, koska raportin taulukossa 1 esitetyt viitearvot eivät koske tällaisia normaalirakennuskannasta poikkeavia yksiköitä.

Arviointiin liittyviä epävarmuustekijöitä ovat vajavaiset tiedot rakennukseen tulevista yksityiskohdista, kuten painavat erityislaitteet jne. Näillä voi olla vaikutusta rakennuksessa koettavaan tärinään. Tärinän vaikutuksia arvioitaessa mallinnuksen avulla voi olla perusteltua hieman ylikorostaa yksittäisiä vaikutteita johtuen epävarmuustekijöistä. Jännemitoiltaan pitkät ja joustavat lattiarakenteet voivat pitkien junien vaikutuksesta resonoidessaan aiheuttaa merkittävää tärinäefektiä rakennuksessa.

Tämän selvityksen lopputulemana voidaan todeta, että Keran asemakaava ehdotuksen (SOK Kiinteistöt Oy:n alue, pääradan eteläinen alue) mukaisilla rakennusten korkeuksilla ja käyttötarkoituksilla juna-, raitiotie ja ajoneuvoliikenteen aiheuttamat tärinäasteet rakennuksissa jäävät häiritsevinä koettujen viitearvojen alapuolella käytettäessä tavanomaisia perustamis- ja rakenneratkaisuja.

Helsinki 3.10.2019
WSP Finland Oy

Mauri Koskinen

Mauri Koskinen, Tkt
Pohjarakennus

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, 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.