




Pilaristabilointi- ja ponttiseinät: Tärinäestekokeilujen alustavat tulokset ja jatkotutkimustarpeet

Kirjoittajat: Asko Talja, Jouko Törnqvist, Emma Niemeläinen

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi		
Pilaristabilointi- ja ponttiseinät: Tärinäestekokeilujen alustavat tulokset ja jatkotutkimustarpeet		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot		Asiakkaan viite
Liikennevirasto Ympäristö- ja kiinteistöyksikkö Erkki Poikolainen PL 33 (Opastinsilta 12) 00521 HELSINKI		Tilaus 16.10.2014 Diaarinumero 4523/1122/2014 Tilausnumero 4440/00NVG/L00000RMC
Projektin nimi		Projektin numero/lyhytnimi
Tärinätorjunnan menetelmien tehokkuuden arviointi		89274/TärTor 2014
Tiivistelmä		
<p>Liikennevirasto on toteuttanut tärinätorjuntaa Turussa, Mellilässä, Korialla ja Keravalla. Keravan Ahjossa tulokset jäivät tärinämittausten perusteella huonoiksi, mutta muissa tapauksissa tärinäeste toimi odotetusti. Raporttiin on koottu yhteenveto eri kohteissa saaduista tuloksista, arvioitu syitä Keravan erilaiseen tulokseen ja esitetty ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi.</p> <p>Saadun kokemuksen perusteella sekä teräsponteista että pilaristabiloimalla yhdelle puolelle rataa rakennetuilla tärinäesteillä voidaan saavuttaa merkittävä parannus pehmeillä savimaa-alueilla, jos värähtelyssä hallitsee pystyvärähtely, savikerroksen paksuus on suuri (yli 15 m) ja etäisyys esteestä on pieni (etäisyys ponttiseinään alle 20 m ja stabiloituun seinään alle 40 m). Muussa tapauksessa oleellisen parannuksen saavuttaminen on epävarmaa. Huomattava on lisäksi, että jos haitta aiheutuu raskaasta tavarajunaliikenteestä, tärinäesteellä saavutettava pienennys ei yleensä yksinään riitä. Hyvien asumisolosuhteiden saavuttaminen, jota edellytetään erityisesti uusilla asuinalueilla, vaatii usein myös tavarajunaliikenteen nopeuden rajoittamista.</p> <p>Ehdotetut tärinäesteitä koskevat jatkotoimenpiteet ovat: Puuttuvien asukaskyselyiden suorittaminen joistakin koerakennuskohteista, molemmiin puolin rataa rakennetun tärinäesteen toiminnan selvittäminen, analyttisen tärinän leviämismallin verifiointi nykyisten mittaustulosten avulla, junakaluston ja roudan merkitysten arviointi nykyisten mittaustulosten avulla, sekä ohjeistuksen laatiminen koerakentamiseen liittyvän mittaustoimintaan ja raportointiin. Koska paalulaatta lienee edelleen parhaiten toimiva ratkaisu kaikissa olosuhteissa, sen kehittämiseen ja erityisesti sen toimivuuden varmentamiseen erisyvyisissä savimaissa tulisi panostaa. Toimivuusarviointia koskevat toimenpiteet ehdotetaan aloitettavaksi FEM-laskennalla ja vasta toisessa vaiheessa suositellaan siirtymistä koerakentamiseen ja niistä tehtäviin mittauksiin.</p>		
Espoo 19.2.2015		
Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
		
Asko Talja Erikoistutkija	Jouko Törnqvist Johtava tutkija	Eila Lehmus Tutkimusalueen päällikkö
VTT:n yhteystiedot		
Asko Talja, PL 1000, 02044 VTT, asko.talja@vtt.fi, puh. 020 7222 6831		
Jakelu (asiakkaat ja VTT)		
Tilaaaja: Erkki Poikolainen, alkuperäinen, 1 kpl PDF-raportti: Ladattavissa verkosta (http://www.vtt.fi) VTT arkisto: Alkuperäinen, 1 kpl		
<p><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>		

Sisällysluettelo

1. Toimeksiannon kuvaus ja tavoitteet	3
2. Suomessa kokeillut tärinäestetyypit	3
3. Pohjasuhteet.....	4
4. Esteiden toimivuus.....	5
5. Tarkempien kohdetietojen saatavuus.....	7
6. Johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset	10
6.1 Johtopäätökset tärinäestekokeiluista	10
6.2 Toimenpide-ehdotukset	11
LIITE A Mellilä ja Loimaa.....	13
1 Mittaukset Loimaalla	13
2 Mittaukset Mellilässä.....	14
3 Tulokset.....	15
Lähdeviitteet	16
LIITE B Korja.....	17
1 Pohjasuhteet.....	17
2 Tärinäesteet.....	17
3 Tulokset.....	18
3.1 Vuoden 2010 mittauksiin perustuvat tulokset	18
3.2 Vuosien 2010, 2005 ja 2002 mittauksiin perustuvat tulokset	21
4 Mittaukset 2006–2007	22
Lähdeviitteet	25
LIITE C Raunistula	27
1 Pohjasuhteet.....	27
2 Tärinäesteet.....	27
3 Mittaustulokset.....	28
4 Kyselytutkimukset.....	31
Lähdeviitteet	32
LIITE D Ahjo	33
1 Pohjasuhteet.....	33
2 Tärinäesteet.....	33
3 Mittaustulokset.....	34
Lähdeviitteet	35
LIITE E Radan ja maaperäolosuhteiden vertailu.....	36
1 Mellilä	36
2 Korja.....	40
3 Raunistula.....	49
4 Ahjo	53
LIITE F Teoreettisia tarkasteluja tärinän suuruuden arviointiin	58

1. Toimeksiannon kuvaus ja tavoitteet

Liikennevirasto on toteuttanut rakenteellista tärinätorjuntaa neljässä eri kohteessa Suomessa. Turussa, Mellilässä ja Korialla menetelmät toimivat varsin hyvin ja odotusten mukaisesti, mutta Keravan Ahjossa tulokset jäivät hyvin vaatimattomalle tasolle huolimatta siitä, että maaperäolosuhteet ja käytetyt menetelmät olivat näennäisesti samankaltaiset kaikissa kohteissa.

Tutkimuksen tavoitteena on löytää syitä Keravan erilaiseen tulokseen hyödyntämällä olemassa olevia mittauksia ja maaperätietoja. Mittaustuloksia arvioimalla voidaan mahdollisesti löytää syy erilaiseen tulokseen, johtuipa se joko herätteestä, maaperästä tai torjuntamenetelmästä.

Hankkeen tavoitteena on toteutettujen tärinätorjuntarakenteiden analysoinnin kautta tuottaa selitys sille, miksi tarjouspyynnössä esitetyissä neljässä eri kohteessa on vaimennustehokkuudessa ollut eroja, vaikka ratkaisut ovat olleet näennäisesti samankaltaisia. Keravan Ahjossa tärinän vaimentuminen on jäänyt käytännössä toteutumatta, mutta muut kolme kohdetta ovat toimineet pääpiirteittäin odotetusti. Ilman todellisen selityksen löytämistä poikkeamalle on tulevissa uusissa kohteissa seinämäratkaisujen käyttökelpoisuutta vaikeaa arvioida käytännön edellyttämällä luotettavuudella. Tavoitteena on siis vastata kysymykseen mitkä tekijät tulee huomioida tavoiteltavan vaimennustehokkuuden saavuttamiseksi.

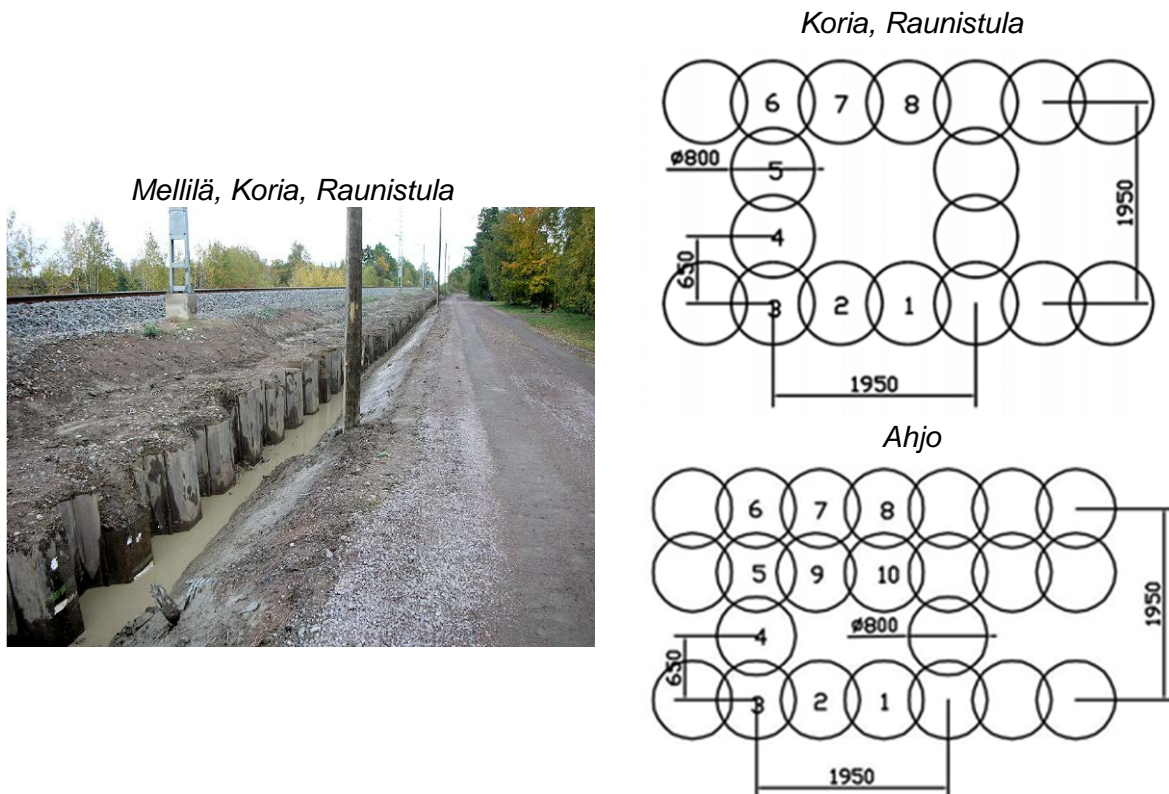
Tämä raportti koskee eri kohteiden tehokkuuden vertailua. Arviointi perustuu nykytietoon. Tämä raportti on vaiheen 1 tulos kolmivaiheiseksi suunnitellusta kokonaisprojektista. Myöhemmin vaiheessa 2 on tarkoitus tehdä tarkentavia selvityksiä vaiheessa 1 havaittujen tarpeiden perusteella. Vaiheessa 3 on tarkoitus laatia tärinäseinien toiminnan varmistamiseksi suositus.

2. Suomessa kokeillut tärinäestetyypit

Suomessa on tehty kokeiluja teräsponteilla ja pilaristabiloimalla (Kuva 1) valmistetuilla tärinäesteillä:

- Mellilään rakennettiin vuonna 2006 teräsponttiseinä. Lisäksi aikaisemmin talvella 2005–2006 rakennettiin Loimaalle alustavia mittauksia varten lyhyitä, 15 ja 45 asteen kulmaan asennettuja ponttiseiniä.
- Korialle rakennettiin vuonna 2006 erilaisia pilaristabiloimalla valmistettua koe-esteitä.
- Korialle rakennettiin vuonna 2010 lisää tärinäesteitä sekä pilaristabiloimalla että teräsponteista.
- Turun Raunistulaan rakennettiin vuonna 2009 tärinäesteitä sekä teräsponteista että pilaristabiloimalla.
- Keravan Ahjoon rakennettiin vuonna 2013 tärinäesteitä pilaristabiloimalla. Ahjo on ainoa kohde, jossa tärinäeste rakennettiin molemmin puolin rataa.

Tiivistelmät toteutetuista kohteista kirjoitetuista raporteista on esitetty liitteissä A–D. Lisäksi liitteeseen E on koottu uutta tietoa radasta ja pohjasuhteista. Seuraaviin lukuihin on koottu yhteenveto saaduista tuloksista.



Kuva 1. Teräsponteilla ja pilaristabiloimalla valmistettuja tärinäesteitä.

3. Pohjasuhteet

Kaikissa koekohteissa maaperä on yleensä pehmeäksi tai sitkeäksi luokiteltua savea, jonka syvyys on 20–25 m. (Taulukko 1). Poikkeuksena on Ahjo, jossa saven syvyys on vain 0–9,3 m. Myös Korian mittauslinja D on poikkeava, sillä siellä syvyys on 10–15 m ja savi on luokiteltu muita kovemmaksi.

Sekä ponteista että pilaristabiloimalla tehtyjen tärinäesteiden syvyysmitta on yleensä huomattavasti pienempi kuin saven syvyys (Taulukko 1). Ponteilla käytetty esteen syvyys on 12 m ja pilaristabiloinnissa 16 m. Ponttiesteillä poikkeuksena on Korian linja D, jossa 8–12 m teräspontit ulottuvat kovaan moreenikerrokseen tai ainakin lähelle sitä. Pilaristabiloinnissa poikkeuksena on Ahjo, jossa stabiloinnin syvyys on 0–9,3 m, jolloin se ulottuu kovaan pohjaan asti.

Kaikissa tapauksissa tärinäesteiden etäisyys radan keskiliinjasta on 7–10 m eli esteet on rakennettu rautatiealueeksi luokitellun alueen sisäpuolelle.

Taulukko 1. Yhteenvedo Suomessa kokeilluista tärinäesteistä.

Kohde	Ponttieste	Stabiloitu este	Esteen syvyys (m)	Saven syvyys (m) ja koivuus	Etäisyys radasta (m) ¹⁾	Mitattu hallitseva taajuusalue (Hz)	Huomautuksia
Mellilä/Loimaa (2006)	X		12/13,5	>10	9	6–7	Maaperästä ei tarkempaa tietoa.
Koria (2006)		X	16	15–40 vaihtelee	7–10	4–7	Savikerros paksu ja leikkauslujuus pieni osassa ratalinjaa, osassa vaihtelevampi ja ohuempi maaperä.
Koria-Linja H (2010)	X		12	15–25 pehmeä	9	7–9	Savikerros hyvin paksua ja leikkauslujuus pieni. Savella suuri vesipitoisuus.
Koria-Linja D (2010)	X		8–12	25–40 kovahko	9	7–9	Maaperän kerrokset osin hieman lujempia ja kerros-paksuudet pienempiä verrattuna linjaan H; myös paksumpia savia
Raunistula-Linja A (2009)		X	16	15–30 sitkeä	7–10	5–7	Raunistula on ainoa tapaus, josta on kysytty asukkaiden mielipidettä esteen vaikutuksesta
Raunistula-Linja B (2009)	X		12	15–30 sitkeä	8	5–7	
Raunistula-Linja C (2009)	X		12	15–30 sitkeä	8	5–7	
Ahjo (2013)		X	0–9,2	0–9,2 pehmeä	7–10	4–7	Saven syvyys muita pienempiä ja este on molemmin puolin rataa. Suuri vesipitoisuus. Kuivakuori osin puuttuu tai on ohut.

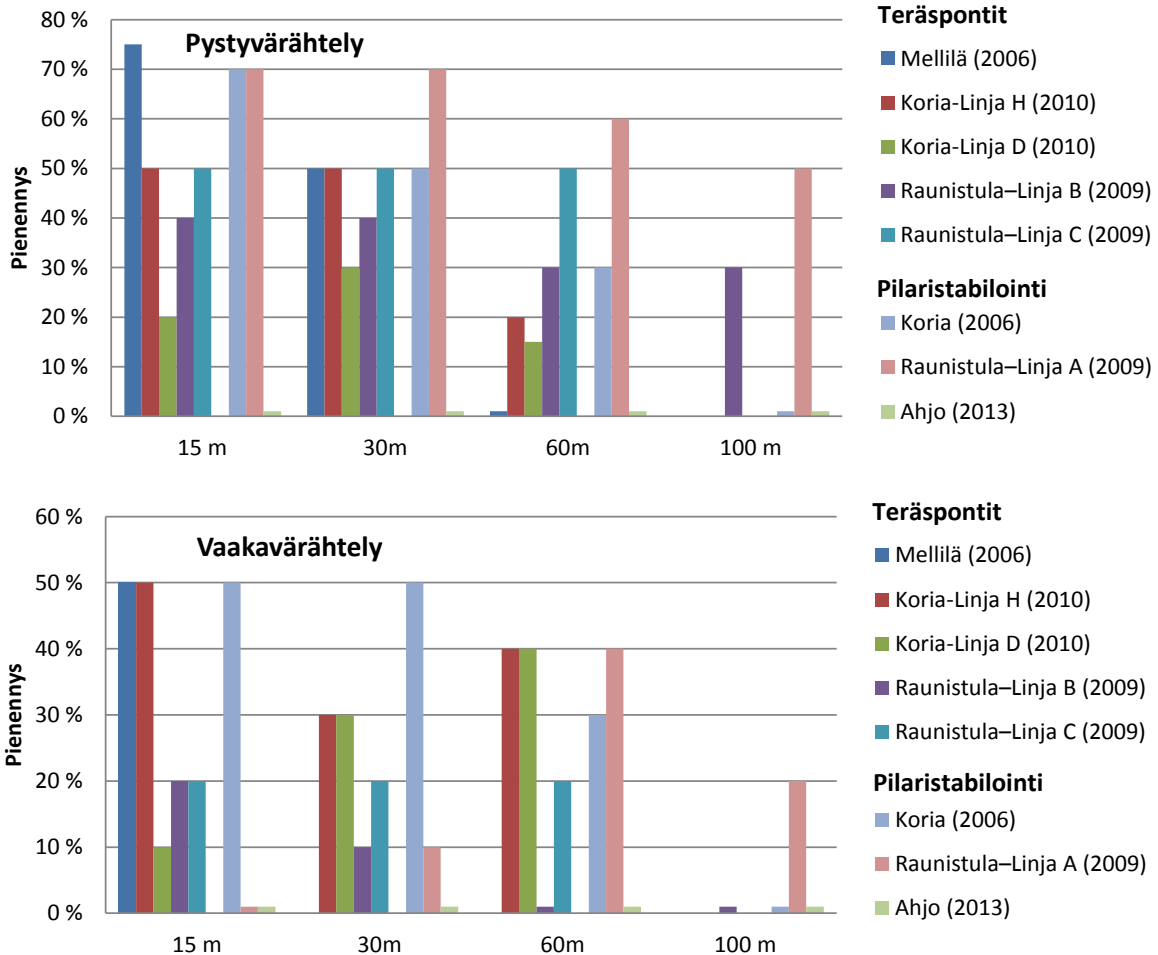
¹⁾ Etäisyys on yleispiirustusten perusteella tehty arvio, sillä tarkkaa sijaintia ei käytettävissä olevissa lähteissä ole ilmoitettu.

4. Esteiden toimivuus

Tärinäesteellä saavutettu värähtelyn pieneneminen vaihtelee eri kohteissa ja eri estetyypeillä. Heti esteen takana pystyvärähtelyn pieneneminen on keskimäärin noin 40–50 %, mutta jo 60 m etäisyyksillä keskimääräinen vaimennus on enää 20–30 %. Poikkeuksena on Keravan Ahjo, jossa värähtelyn pienenemistä ei ole havaittavissa (Kuva 2).

Esteen takana lähellä estettä ja vielä 30 m etäisyydellä pystyvärähtely pienenee teräsponttiesteillä Korian linjaa D lukuun ottamatta 40–50 % ja stabiloiduilla esteillä Ahjoa lukuun ottamatta 50–70 %. Huomattava on, että Korian linjalla D savi on lujempaa ja sen syvyys on pienempi kuin muissa tapauksissa. Myös Ahjon tapauksessa saven syvyys on huomattavasti muita pienempi. Lisäksi Ahjossa tärinäeste on rakennettu poikkeuksellisesti molemmin puoli

rataa. Noin 60 m etäisyydellä pystyvärähtelyn pienennys on yleensä teräsponttiesteellä 20–30 % ja stabiloidulla esteellä 30–50 %, mutta myös tällä etäisyydellä Korian linja D ja Ahjo eroavat muista. Raunistulan linjoilla B (teräspontti) ja A (pilaristabilointi) havaittiin tärinän pienemistä vielä lähes 100 m etäisyydellä radasta.

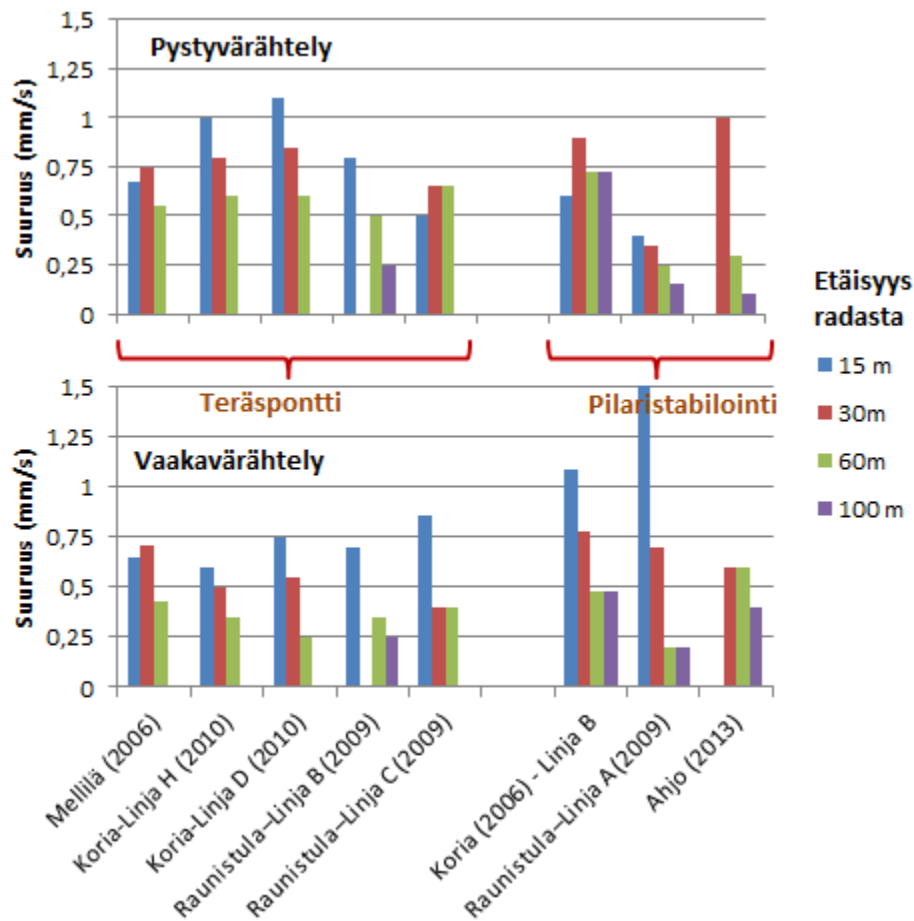


Kuva 2. Yhteenveto tärinäesteen vaikutuksesta maaperän pysty- ja vaakavärähtelyyn eri etäisyyksillä radasta.

Vaakavärähtelyn pieneminen on hyvin vaihtelevaa. Joissakin tapauksissa vaikutus on jopa yli 50 %, mutta useissa tapauksissa vaikutusta ei ole lainkaan. Muutamassa tapauksessa vaakavärähtely on aivan esteen takana jopa voimistunut (kuvassa 0-pienennys, esim. Raunistula-Linja A ja Ahjo). Keskimääräinen pienennys alle 60 m etäisyydellä radasta on vain noin 20 %.

Esteen rakentamisen jälkeen mittauspisteen etäisyyden vaikutus pystyvärähtelyn pienemiseen on pienempi kuin ennen esteen rakentamista, sillä tärinäeste pienentää pystyvärähtelyä voimakkaimmin esteen välittömässä läheisyydessä. Esimerkiksi tapauksissa Mellilä 2006, Raunistula-Linja C ja Koria-Linja B pystyvärähtely on kaikilla etäisyyksillä lähes sama (Kuva 3). Vaikka tärinäesteen vaikutus vaakavärähtelyyn on yleensä pienempi kuin pystyvärähtelyyn, esteen rakentamisen jälkeen pystyvärähtely on silti yleensä suurempi kuin vaakavärähtely. Poikkeuksena on Ahjo, jossa jo ennen esteen rakentamista vaakavärähtely oli hallitsevaa. Myös tapauksissa Raunistula-Linjat A ja C sekä Koria-Linja D vaakavärähtely dominoi etenkin esteen lähietäisyydellä. Huomattava on myös, että tärinäesteestä huolimatta värähtely ylittää monissa kohteissa uuden asuinalueen suositukset (värähtelyn tunnusluku 0,3 mm/s).

Raunistulan alueella on kysytty myös alueen asukkaiden mielipidettä tärinäesteen vaikutuksesta. Numeerisella asteikolla (0–10) asukkaiden mielestä tärinän keskimääräinen häiritsevyys laski arvosta 8,2 arvoon 5,4, mitä voidaan pitää merkittävän muutoksena.



Kuva 3. Yhteenveto maaperän pysty- ja vaakavärähTELystä eri kohteissa esteen rakentamisen jälkeen. Vertailuissa on käytetty värähTELyn tunnuslukua (määrävinä junina tavarajunat). Kohteissa Mellilä (2006) ja Korja (2006) tunnusluku on arvioitu kertomalla huippuarvot luvulla 0,6. Kaikki kuvan tulokset ovat ilman tavarajunien alennettua nopeusrajoitusta.

Edellä esitetyt arvioit on tehty käytössä olevan tiedon perusteella. Tulosten luotettavuutta Mellilän ja Ahjon tärinäesteiden osalta haittaavat seuraavat puutteet:

- Kohteessa Mellilä (2006) mittaustulokset ja junatiedot on puutteellisesti raportoitu. Pelkästään graafisten kuvien perusteella tehdyt päätelmät eivät ole tarkkoja. Myös kairauksiin perustuvat maaperätiedot puuttuvat.
- Kohteessa Ahjo (2013) tärinäesteen pienennysvaikutuksen arviointi perustuu alhaiseen värähTELytasoon, vain kolmessa maaperän mittauspisteessä värähTELyn tunnusluku on yli 0,2 mm/s. Alhaisilla värähTELytasoilla taustakohinan merkitys korostuu. Lisäksi mittaukset ennen tärinäestettä on tehty roudan aikaan ja mittaukset esteen rakentamisen jälkeen sulan maan aikaan. Roudan vaikutus näkyy mitatussa värähTELyn taajuussisällössä.

5. Tarkempien kohdetietojen saatavuus

Jatkoselvityksiä ajatellen paras tieto maaperästä, radasta ja tärinäesteistä, juna- ja liikennetiedoista sekä tärinämittauksista on saatavilla Korian ja Raunistulan kohteista (Taulukko 2).

Kairaustietoja oli käytettävissä kuitenkin lähinnä vain ratalinjoilta. Ahjon tapauksen vertailu on vaikeampaa, sillä junatietoja ei kaikista mittaustapahtumista ole saatavilla ja myös vertailukelpoisten mittauspisteiden määrä on pieni. Myös Mellilän kohteen mittaustulokset ovat huomasti hyödynnettävissä.

Tärinämittauksia eri kohteissa ovat tehneet, Kalliotekniikka Consulting Engineers Oy, Promethor Oy, Oy Finnrock Ab, Geobotnia Oy ja WSP Finland Oy (Taulukko 2). Tärinämittaustieto on tehdyn kyselyn perusteella saatavilla kaikista koerakennuskohteista lukuun ottamatta Mellilää, jonka saatavuudesta ei ole varmuutta. Kalliotekniikalla ja Finnrockilla tiedon tallennusaika on yleisesti 10 vuotta, mutta myös vanhemmat mittaustulokset ovat yleensä löydettävissä. Myös Geobotnialla ja Promethorilla on tallessa kaikki omien mittaustensa raakadata. WSP:n tallennusaika perustuu toimeksiantosopimukseen, mutta käytännössä mitaustausdataa on taltioituna lähes kaikista mittauksista. Kalliotekniikka, Geobotnia ja WSP ovat käyttäneet tärinämittauksissa Instantel-laitteita, joiden raakasignaali on muunnettavissa ASCII-muotoon Blastware-ohjelmalla. Finnrock on käyttänyt Instantelin lisäksi myös Sigicom-laitetta, josta signaali on luettavissa suoraan ASCII-muodossa. Promethorin tallentama tieto on WAV-muodossa, joka on avattavissa yleisillä signaalinkäsittelyohjelmistoilla.

Taulukko 2. Tärinäestekokeiluista hankitun tiedon saatavuus.

Kohde	Kohdetietojen saatavuus
Mellilä (2006)	Maaperäominaisuudet: <ul style="list-style-type: none"> - Savikkoalue, saven paksuus mahdollisesti suuri, tarkempia tietoja ei ole saatavilla Tärinäestetiedot: <ul style="list-style-type: none"> - Rakennetiedot ja etäisyys sijainti on esitetty liitteen A lähdeviitteissä. Ratatiedot: <ul style="list-style-type: none"> - Radan alusrakenteen paksuus on noin 0,7–1 m - Pengerpaksuus suhteessa ympäröivään maanpintaan on noin 0–2 m - Yksi rumpu - Maatutka- ja laserkeilausaineisto saatavilla Roadscanners Oy:ltä (2010)/Liite E Juna- ja liikennetiedot mittausten aikana: <ul style="list-style-type: none"> - Kalustotietoja mittauksista ennen estettä ei ole saatavilla, mutta esteen jälkeen tehtyjen mittausten tiedot (kulkusuunta, kokonaispaino, akselipaino, pituus ja nopeus) löytyvät tavarajunien ja merkittävimpien henkilöjunien osalta liitteen A lähdeviitteistä. Tärinämittaustiedon saatavuus: <ul style="list-style-type: none"> - WSP Finland (2006 ja 2007)

Kohde	Kohdetietojen saatavuus
Koria (2006, 2010)	<p>Maaperäominaisuudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pääasiallinen maalaji on pehmeä ja vesipitoinen savi ja silttinen savi paksuina kerroksina, mutta linjojen H ja D välissä myös selvästi kiinteämpi ja matalampi kerros. - Laskettu maapohjan alin ominaistajuus¹ on 0,6–11,4 Hz (Liite E) <p>Tärinäestetioidot:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rakennetioidot ja stabiloidun materiaalin leikkauslujuus on esitetty liitteen B lähdeviiteissä. - Tärinäesteen tarkkaa etäisyysijaintia ei ole esitetty <p>Ratatiedot:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Radan alusrakenteen paksuus on noin 0,5–1,2 m - Pengerpaksuus suhteessa ympäröivään maanpintaan vaihtelee 0–7 m - Varmistettuja ja mahdollisia routarakenteita - Kolme rumpua ja kolme siltaa. - Maatutka- ja laserkeilausaineisto saatavilla Roadscanners Oy:ltä (2010)/Liite E <p>Juna- ja liikennetioidot mittausten aikana:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kalustotioidot (junatyypit, kulkusuunta, kokonaispaino, akselipaino, pituus ja nopeus) on esitetty liitteen B lähdeviiteissä. Vuoden 2007 ylimääräisistä seurantamittauksista junien nopeustiedot puuttuvat. <p>Tärinämittaustiedon saatavuus:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geobotnia (2006, ennen ja jälkeen koe-esteen rakentamisen), Promethor (2007), Finnrock (2010, ennen ja jälkeen esteen rakentamisen)
Raunistula (2009)	<p>Maaperäominaisuudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maaperä pääasiassa tasalaatuista, paksua savea, jonka leikkauslujuus vaihtelee syvyyden funktiona - Kuivakuorikerros on alle 1 m - Laskettu alin ominaistajuus (savikerros) on 1,1–3,2 Hz (Liite E) <p>Tärinäestetioidot:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rakennetioidot on esitetty liitteen C lähdeviiteissä. Stabiloidun materiaalin pilarikairaukset on tehty, mutta tuloksia ei ole liitteen C lähdeviiteissä. - Tärinäesteen tarkkaa etäisyysijaintia ei ole esitetty <p>Ratatiedot:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Radan alusrakenteen paksuus noin 0,2–1 m - Pengerpaksuus suhteessa ympäröivään maanpintaan noin 0,1–1,5 m - Mahdollisia routarakenteita - Tasoristeys - Maatutka- ja laserkeilausaineisto on saatavilla Roadscanners Oy:ltä (2010)/Liite E <p>Juna- ja liikennetioidot mittausten aikana:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maasta eri linjoilta tehdyistä mittauksista (Promethor) on olemassa kalustotioidot ennen esteen rakentamista (junatyypit, kokonaispaino, akselipaino ja suunta) ja esteen rakentamisen jälkeen (junatyypit, vau- nujen määrä, nopeus ja suunta). Tiedot on esitetty liitteen C lähdeviiteissä. Kalliotekniikan (pääasiassa mittauksia rakennuksista) junatioidojen saatavuudesta ei ole selvyyttä (mittausraportteja ei ole ollut käytössä). <p>Tärinämittaustiedon saatavuus:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Promethor (2008 ja 2010), Kalliotekniikka (2008 ja 2010)

¹ On huomattava, että herätetaajuudesta riippuen maapohjassa voi esiintyä myös alimman taajuuden monikertoja. Homogeenisessa kerroksessa kerroin on $(1+2n)$, jossa n on kokonaisluku.

Kohde	Kohdetietojen saatavuus
Ahjo (2013)	<p>Maaperäominaisuudet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alue on pääasiassa savikkoa, joissa suuriakin vesipitoisuuksia. Myös muita maalajeja, kuten täytemaata, silttiä ja hiekkaa. Korkeussuhteiden ja maalajien vaihtelu on suurta. Kuivakuorikerros puuttuu tai on hyvin ohut. - Laskettu alin maapohjan ominaistajuus on 2,3–22,7 Hz (Liite E), suurimmat arvot pisteissä, jossa kova pohja lähellä maanpintaa (alle 2 m). <p>Tärinäestetiedot:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geometriatiedot on esitetty liitteen C lähdeviitteissä, mutta stabiloidun materiaalin tavoitelujuudet ja laadunvalvonnan tulokset puuttuvat liitteen C lähdeviitteistä. - Tärinäesteen tarkkaa etäisyysijaintia ei ole esitetty <p>Ratatiedot:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Radan alusrakenteen paksuus on noin 0,5–0,9 m - Pengerpaksuus suhteessa ympäröivään maanpintaan on noin 0,3–1,7 m - Mahdollisia routarakenteita - Kaksi ylikulkusiltaa - Maaleikkaus - Maatutka- ja laserkeilausaineisto on saatavilla Roadscanners Oy:ltä (2010)/Liite E <p>Juna- ja liikennetiedot mittausten aikana:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kalustotietoja ei mittauksissa ennen esteen rakentamista ja sen jälkeen ole selvitetty, ainoastaan tapahtumien ajankohdat ovat tiedossa. Juna-tietoja ei ollut katsottu tarpeelliseksi selvittää, koska kalustotiedot (juna-tyyppi, kulkusuunta, kokonaispaino, akselipaino ja pituus) oli selvitetty jo aikaisemmissa (mm. Finnrock 2011) mittauksissa. <p>Tärinämittaustiedon saatavuus:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Finnrock

6. Johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset

Liikennevirasto on toteuttanut tärinätorjuntaa Turussa, Mellilässä, Korialla ja Keravalla. Keravan Ahjossa tulokset jäivät tärinämittausten perusteella huonoiksi, mutta muissa tapauksissa tärinäeste toimi odotetusti. Tärinäesteinä on kokeiltu sekä teräsponteista että pilari-stabiloimalla valmistettuja esteitä. Ponteilla esteen syvyys on ollut yleensä 12 m ja pilari-stabiloinnissa 16 m. Pilaristabiloidun esteen paksuus on ollut noin kaksi metriä.

6.1 Johtopäätökset tärinäestekokeiluista

Koerakennuskohteista saadun kokemuksen perusteella näillä tärinäesteillä saavutettava parannus on nykytietämyksen valossa epävarmaa, jos

- maaperän vaakavärähtely on sen pystyvärähtelyä suurempi,
- savikerroksen paksuus on alle 15 m (tarkastelluissa tapauksissa este ulottuu kovaan pohjaan) tai pehmeät savet ja kovemmat maalajit vaihtelevat suuresti paksuudeltaan vaihtelevassa maaperässä.
- tärinäeste rakennetaan molemmin puolin rataa, tai
- tarkasteltava kohde sijaitsee yli 20 m etäisyydellä teräsponttiesteestä tai yli 40 m etäisyydellä stabiloidusta esteestä.

Muussa tapauksessa tärinäesteellä voidaan arvioida saavutettavan 30–60 % värähtelyn pieneminen, mikä merkitsee tärinäolosuhteissa selvää paranemista.

Huomattava on kuitenkin, että useissa tapauksissa (rautatiealueeksi luokitellun alueen sisäpuolelle sijoitettavalla) tärinäesteellä saavutettava pienennys ei ole riittävä hyvien asumisolosuhteiden saavuttamiseksi pehmeikköalueilla, kun tärinä aiheutuu raskaasta tavarajunalii-kenteestä. Silloin ainoaksi tärinän pienentämiskeinoksi voi jäädä tärinän syntymiseen vaikuttaminen (mm. nopeusrajoitukset tai radan perustaminen paalulaatan varaan).

6.2 Toimenpide-ehdotukset

Jatkotoimenpiteiksi rakennettuihin koekohteisiin liittyen ehdotetaan:

- Asukaskyselyn suorittaminen tärinäesteen vaikutuksista Korian ja Ahjon alueilla. Suhteellisen helposti toteutettavalla kyselyllä saatavien tulosten avulla voidaan saada vahvistusta mittauksista saadulle kokemukselle. Tärinän haitallisuuden arviointi voidaan tehdä VTT Tiedotteen 2278 (2004) liitettä D soveltaen. Jos kyselyä ei ole tehty ennen tärinäesteen rakentamista, siinä kysytään asukkaan arviota myös tilanteesta ennen estettä.
- Molemmiin puoli rakennetun esteen toimivuuden vertailu. Ahjon tapauksesta tulisi selvittää, johtuuko muita huonompi tulos pienestä savikerroksen paksuudesta, molemmiin puolin rakennetusta tärinäesteestä vai siitä, että vaakavärähtely hallitsee maaperän värähtelyssä.
- Aineiston luominen analyttisen tärinän leviämismallin verifiointiksi. Koekohteista on pääosin olemassa poikkeuksellisen hyvät maaperä- ja tärinämittaustiedot mallin verifiointiksi. Verifiointia varten tulisi hankkia lisää kairaustietoja rata-alueelta laajemmalla alueella. Laadukkaammat maaperätiedot edellyttäisivät dynaamisten ominaisuuksien määrittämistä SASW-mittauksilla (SASW Spectral analysis of seismic waves).

Jatkotoimenpiteiksi maaperän tärinän pienentämiseen liittyen ehdotetaan:

- Junakaluston vaikutus tärinän syntymiseen. Mittauksissa on todettu, että tavarajunilla pituuden ja kokonaispinon lisäksi tärinään vaikuttavat myös muut tekijät, kuten vaunu- ja akselipainot sekä eripainoisten vaunujen järjestys. Myös routaolosuhteilla on merkitystä. Junakaluston ja roudan vaikutusta on mahdollista tutkia esimerkiksi analysoimalla Ahjon yhdestä referenssipisteestä eri aikaan tehtyjen pitkäaikaismittausten tuloksia tai perustamalla sinne tai muulle edustavalle alueelle tärinän pitkäaikaismittausasema.
- Eri etäisyydelle rakennettujen perättäisten tärinäesteiden toimivuuden arvioiminen. Koska tärinäeste toimii parhaiten esteen läheisyydessä, sopivin välein sijaitsevilla olevilla esteillä voidaan mahdollisesti parantaa tärinän pienemistä.
- Paalulaatan toimivuuden arvioiminen. Paalulaatta pienentää maaperän tärinän syntymistä ja siten sen uskotaan toimivan merkittävästi paremmin kuin tärinäesteet. Toimivuudesta ei kuitenkaan ole olemassa vertailuaineistoa. Paalulaatan toimintaan saattaa vaikuttaa merkittävästi mm. pehmeän maakerroksen syvyys.
- Kustannuksiltaan edullisen paalulaatan kehittäminen. Koska paalulaatta lienee parhaiten toimiva ratkaisu kaikissa olosuhteissa, sen kehittämiseen tulisi panostaa.

Edellä esitetyt jatkotoimenpiteet, jotka koskevat toimivuusarvioita, tulisi aloittaa FEM-laskennalla ja vasta toisessa vaiheessa siirtyä koerakentamiseen ja niistä tehtäviin mittauksiin. Lisäksi paalulaatan vaikutuksen arvioinnissa voidaan alkuvaiheessa käyttää hyväksi niitä

muutamia mittaustuloksia alueilta, joilta tärinää on mitattu ennen paalulaatan rakentamista ja sen jälkeen. Jos tärinää on mitattu vain rakentamisen jälkeen, tuloksia voidaan verrata vastaavilta alueilta nykyisistä tärinäestekokeiluista saatuihin tuloksiin.

Muiksi toimenpiteiksi ehdotetaan:

- Koerakentamiseen liittyvän mittaustoiminnan ja raportoinnin ohjeistus. Ohjeistuksessa voidaan käyttää apuna VTT Tiedotteen 2569 (2011) liitteessä A esitettyä kuvausta kaava-alueen tärinämittauksen teettämisestä. Mittaustulosten jatkohyödyntämistä vaikeuttaa mm. se, että mittausten ja mittaustulosten analysointiin ja raportointiin on osallistunut useita tahoja. Useiden konsulttien käyttöä tulisi välttää. Jos näin kuitenkin menetelmään, jokaisen mittauskonsultin tulee tehdä oma mittausraporttinsa. Yhteenvedon tuloksista kokoaa tärinäesteen suunnittelukonsultti tai yksi mittaavista tahoista. Yhteenvetoraportissa tulee esittää kaikki käytetyt mittausraportit ja muut kohteesta tehdyt raportit. Ilman lähdeluettelo olemassa olevien raporttien löytäminen on myöhemmin vaikeaa.
- Erilaisten tärinäeristämistoimenpiteiden hyöty-kustannusanalyysin tekeminen maankäytön suunnittelua varten. Käyttöön tulisi luoda sekä kustannukset että etäisyysvaikutukset sisältävä laskentapohja, jolla voidaan valita järkevä vaihtoehto tarkasteltavaan kohteeseen. Lisäksi laskentapohja tukisi liikenneviraston ja kuntien välistä vuoropuhelua.

LIITE A Mellilä ja Loimaa

Teräsponteista rakennetun tärinävaimennusseinän toimintaa tutkittiin talvella 2005–2006 ja syksyllä 2006 Turku–Tampere rataosuudella Loimaalla ja Mellilässä. Tarkkoja maaperätietoja ei ole raportoitu. Geologisen tutkimuskeskuksen yleispiirteisen maaperäkartan mukaan alueet ovat savialuetta. Mellilän alueen asukkaiden haastatteluiden perusteella alue on pehmeikköaluetta, jossa savikerroksen paksuus saattaa olla kymmeniä metrejä (Ervo 2007).

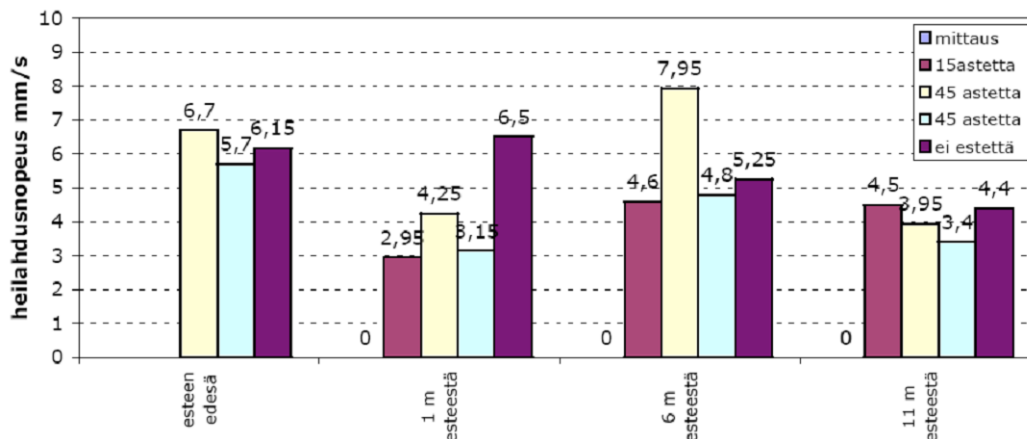
1 Mittaukset Loimaalla

Talvella 2005–2006 suoritettiin Loimaalla pienimuotoisia mittauksia lyhyellä tärinäseinällä (kuva 1). Kokeilupaiikka oli Alhokedontien varrella kohdassa, jossa rataosuus ja tie risteävät. Rataosa oli Toijala–Turku ratakilometrillä 214+300. Ponttiseinän pituus oli noin 40 metriä ja etäisyys radasta 15 m. Tärinävaimennusseinäenä käytettiin Larsenin L603 (pituus 12 m, 108 kg/m²) ponttilankkuja. Kokeilun lopuksi tärinävaimennusseinä purettiin ja teräspontit käytettiin uudelleen Mellilän tärinäesteeseen.



Kuva 1. Tärinävaimennusseinä Loimaan koekohteessa talvella 2005–2006 (Poikolainen 2006a).

Pontit asennettiin kerran 15 ja kahdesti 45 asteen kulmaan pystytasosta ja lisäksi mitattiin ilman vaimennusseinää. Tärinä mitattiin kolmikomponenttisesti tärinäesteen ulkopuolelta 1, 6 ja 11 m etäisyydeltä esteestä sekä radan puolella 1 m etäisyydeltä esteestä (Kuva 2). Mittaukset teki Tieliikelaitos Finnrockin laitteilla. Kaikissa tallennetuissa mittaustapahtumissa voimakkainta oli pystyvärähtely. Värähtelyssä dominoiva taajuus oli 6–8 Hz.

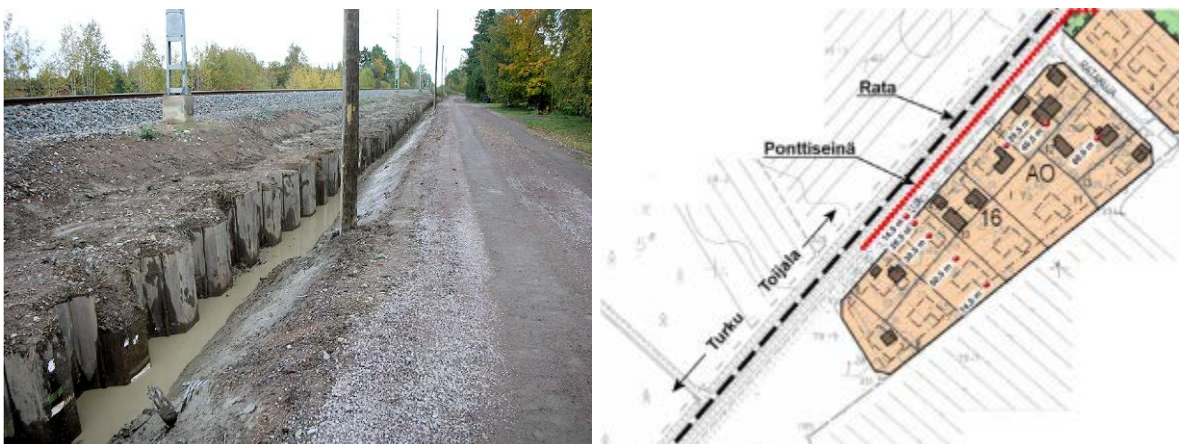


Kuva 2. Mitatut värinäarvot Loimaan koekohteessa eri kulmiin asenetuilla ponttiseinillä (Poikolainen 2006a). Mittaukset on tehty samaan aikaan kulkeneesta tavarajunasta.

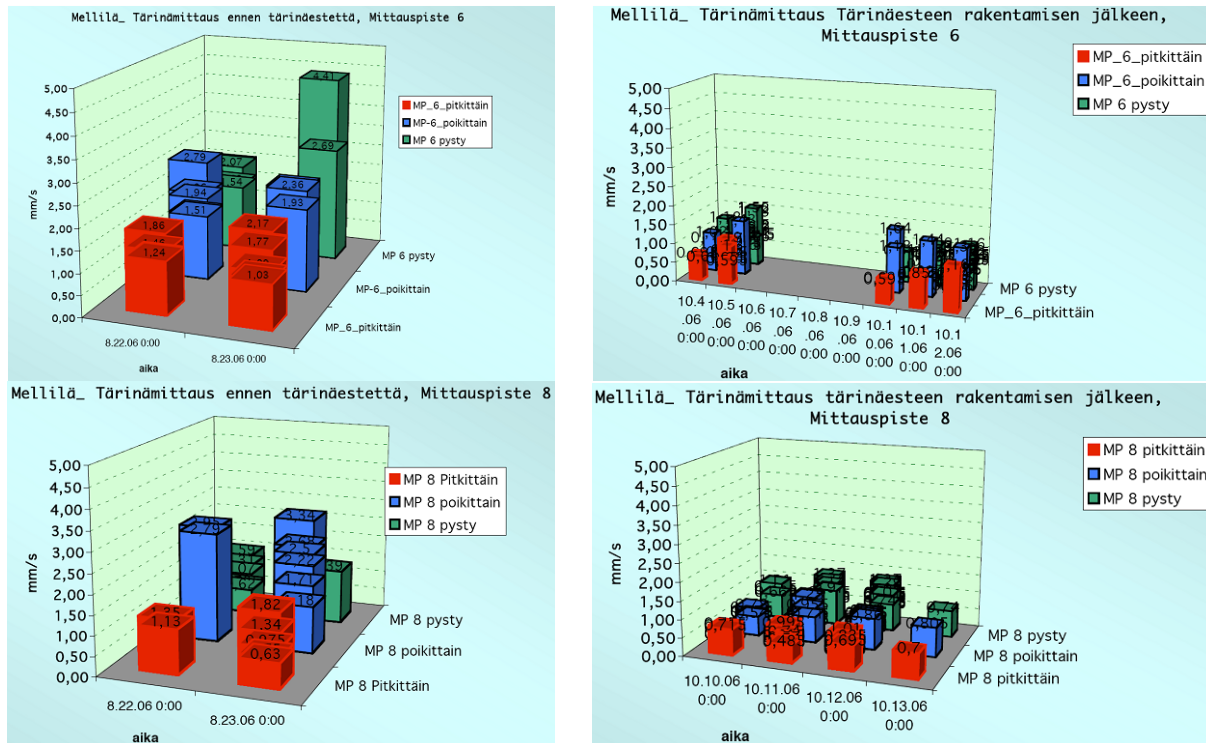
2 Mittaukset Mellilässä

Teräsponteista rakennetun täysimittaisen värinävaimennusseinän toimivuutta tutkittiin syksyllä 2006 Mellilässä (kuva 3). Koekohde sijaitsee Mellilän Ratakujalla (rata-km 220), noin 300–450 metriä maantien 2260 tasoristeyksestä Turun suuntaan. Värinävaimennusseinä etäisyys radasta oli noin 9 m ja kokonaispituus 210 m. Värinävaimennusseinänä käytettiin sekä Arbedin PU8 (pituus 13,5 m) että Larsenin L603 (pituus 12 m) ponttilankkuja.

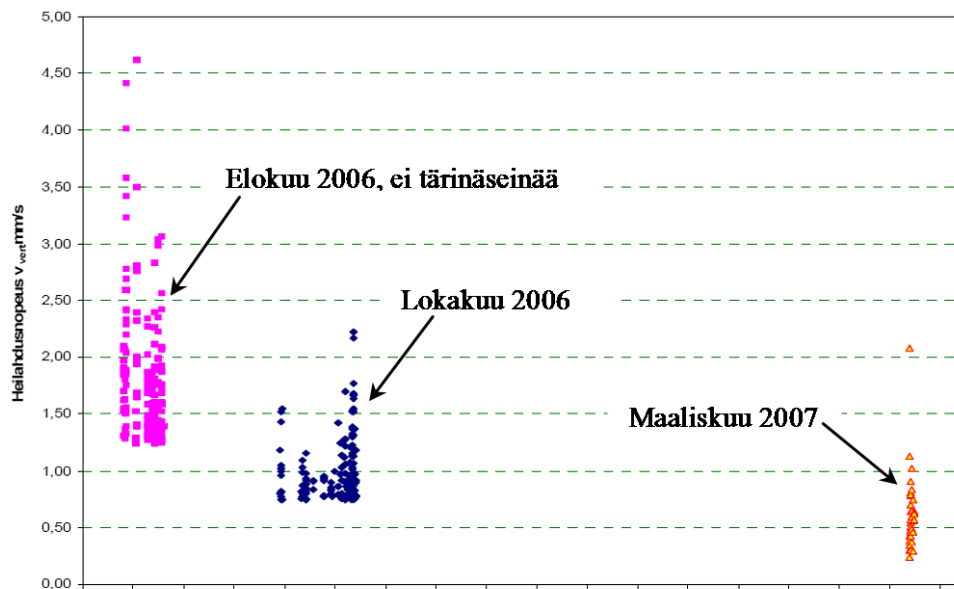
Mittauspisteitä oli kaikkiaan 16 kpl, joista 3 sijaitsi rataa lähellä sijaitsevien talojen perustuksissa. Värinä mitattiin samoista pisteistä ennen asennusta ja sen jälkeen (kuva 4). Nämä mittaukset teki Tielikelaitos Finnrockin laitteilla. Lisäksi keväällä 2007 suoritettiin WSP Finland Oy:n toimesta seurantamittaus (kuva 5). Seurantamittauksen tuloksia ei kuitenkaan ole voitu yksiselitteisesti verrata aikaisemmin saatuihin tuloksiin, koska aikaisempien mittausten tapahtumista ei ole ollut käytössä yksityiskohtaisia junatietoja. Seurantamittauksissa maan pystyvärähtelyssä hallitsivat taajuudet 7–8 Hz.



Kuva 3. Värinävaimennusseinä Mellilän koekohteessa syksyllä 2006 (Poikolainen 2006a, Ervo 2007).



Kuva 4. Mitatut värinäarvot Mellilän koekohteessa. Vasemmalla ennen värinäesteen asennusta ja oikealla asennuksen jälkeen (Poikolainen 2006b). Mittauspisteen MP6 etäisyys esteestä on 4 m ja mittauspisteen MP8 etäisyys esteestä on 21 m. Tulokset ovat mahdollisesti samoista junista, vaikka sitä ei ole raportissa mainittukaan.



Kuva 5. Kevään 2007 vertailumittauksen tulokset aikaisempiin tuloksiin nähden (Ervo 2007). Mittauspiste MP6 (4 m esteestä), pystyvärähtely.

3 Tulokset

Tärinäeste vähensi pääasiassa värähtelyn pystykomponenttia, mutta myös vaakakomponenteissa havaittiin merkittävää pienenemistä. Mellilän värinäseinä vaimensi pystysuuntaista värähtelyä heti esteen takana noin 75 % ja 20–30 metrin etäisyydellä radasta noin 50 %. Vaikutus näkyi vielä 50 m etäisyydellä. Merkillepantavaa on, että värinäseinä näytti vaimentavan myös vaakasuuntaista värinää yli 50 %. Tärinäeste vähensi 30–40 m etäisyydellä radasta

sijaitsevien talojen tärinää 40–50 %, mutta kauempana 60 m etäisyydellä sijaitsevaan taloon ei tärinäseinällä ollut vaikutusta.

Esteen pituus vaikutti merkittävästi saatavaan vaimennukseen, 40 m esteellä vaimennus oli selvästi pienempi kuin 250 m esteellä ja vaikutus näkyi vain lähellä estettä.

Lähdeviitteet

Poikolainen, E. 2006a. Ratahallintokeskus ja Tieliikelaitos. Raportti 11221, Tärinämittaukset Loimaalla.

Poikolainen, E. 2006b. Tärinämittaukset Mellilässä. Ratahallintokeskus ja Tieliikelaitos. Raportti 11230.

Ervo, P. 2007. Mellilä, Ratakuja. Junaliikenteen tärinämittaus. WSP Finland Oy, mittausraportti 16.4.2007.

Muut mahdolliset dokumentit, jotka eivät olleet käytössä:

Lähteen (Poikolainen2006b) liite1.

LIITE B Korja

Korian kohde sijaitsee Kouvolan kaupungissa Lahti-Kouvola rataosuuden paaluvälillä 183+600 – 186+400. Alueella esiintyvät voimakkaat tärinät johtuvat useiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta; pohjamaa koostuu paikoitellen jopa yli 30 metrin paksuisesta pehmeästä savikerroksesta, asuinrakennukset sijaitsevat lähellä rataa ja junarata tekee alueella säteeltään alle 1000 metrin kaarteita. Lisäksi radalla kulkee raskaita tavarajunia. Yli 3000 tonnin junilla on kohteessa tällä hetkellä voimassa nopeusrajoitus 30 km/h (Ramboll 2011).

Alueella on tutkittu tärinävoimennusseinien toimintaa LITES-tutkimuksessa (Liikenteen tärinähaittojen eliminointi syvästabiloinnin avulla). LITES-tutkimuksen toisessa vaiheessa vuonna 2005–2007 rakennettiin neljä syvästabilointirakenteita Korialle, ja tutkittiin niiden junatärinää vaimentavaa vaikutusta radan ympäristössä tärinämittauksilla ja FEM-laskennalla. Vuonna 2007 alkaneessa tutkimusprojektin kolmannessa vaiheessa laajennettiin tietämystä stabilointirakenteiden toiminnasta tärinävoimennuksessa lisämittauksilla ja FEM-laskennalla.

1 Pohjasuhteet

Tutkimuskohteen länsiosassa pinnassa on noin 10–25 metrin savikerros, josta ylempi osa on pehmeämpää. Savikerroksen alla on noin 10–20 metrin silttikerros, jonka alapuolella on tiivis moreenikerros noin 25–35 metrin syvyydellä. Savikerros ohenee länteen päin mentäessä.

Tutkimuskohdan keskiosassa rata-km noin 185+200 – 185+600 pinnassa on noin 5 metrin silttikerros, jonka alapuolella on tiivis moreenikerros. Keskikohdalta itään päin pinnassa on jälleen noin 10–20 metrin savikerros, jonka alapuolella on noin 5–15 metrin silttikerros. Tiivis moreenikerros on silttikerroksen alapuolella noin 20–35 metrin syvyydellä.

Tutkimuskohteen itäosassa pinnassa on noin 10–15 metrin kova savi- tai silttikerros, jonka alapuolella on tiivis moreenikerros.

Ratapenkereen korkeus on tutkimuskohteen länsipuolella noin 1 metri. Tutkimuskohteen itäpuolella pengerkorkeus on noin 6–7 metriä.

2 Tärinäesteet

Tärinävoimennusseinät on tehty osittain pilaristabiloinnilla ja osittain teräsponteilla (kuva 1). Pilaristabilointi on niillä osuuksilla, joilla pilaristabilointirakenteelle oli riittävästi tilaa. Pilaristabilointiseinää rakennettiin yhteensä 440 m ja teräsponttiseinää yhteensä 1482 m. Seinät rakennettiin syksyllä 2010.

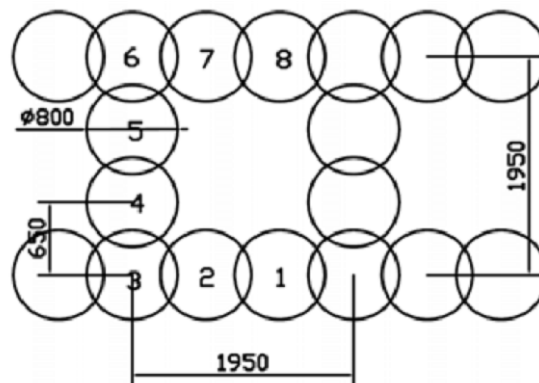
Teräsponttiseinät on tehty 12, 8 ja 6 m pitkistä teräsponteista jotka lyötiin lukkoon (seinän taivutusvastus 1180 cm³/m). Ponttien päät liitettiin hitsiliitoksiksi kiinni jatkuvaan vaakapalkkiin, jolla estettiin yksittäisten ponttien uppoaminen haluttua asennustasoa syvemmälle. Vaakapalkki myös edistää ponttien toimintaa yhtenäisenä rakenteena.

Heli1954



Kuva 1. Korian koerakenteet (Ramboll 2011, Koivisto 2007). Alueella on sekä pilaristabiloimalla (punainen väri) että teräsponteilla (sininen väri) rakennettuja tärinäesteitä.

Pilaristabilointirakenne tehtiin 16 m pilareista 800 mm halkaisijalla, kennomuotoisena rakenteena (kuva 2). Rakenteen kokonaisleveys kohtisuoraan junarataa vasten on 2,7 metriä. Sideaineena pilareissa oli työn alussa GTC 120 kg/m³, pilareiden nopean lujuuden kehittymisen johdosta sideainemäärä muutettiin työn loppuvaiheessa määrään 100 kg/m³. Pilarien lujuuskehityksen seuraamiseksi suoritettiin laadunvalvontakairauksia. Lujuudenkehitys kaikissa pilareissa oli erittäin nopeaa, ja tavoiteleikkauslujuus 150 kPa saavutettiin jo kahden viikon jälkeen.



Kuva 2. Tärinäesteessä käytetty pilaristabilointi (Koivisto 2007).

3 Tulokset

3.1 Vuoden 2010 mittauksiin perustuvat tulokset

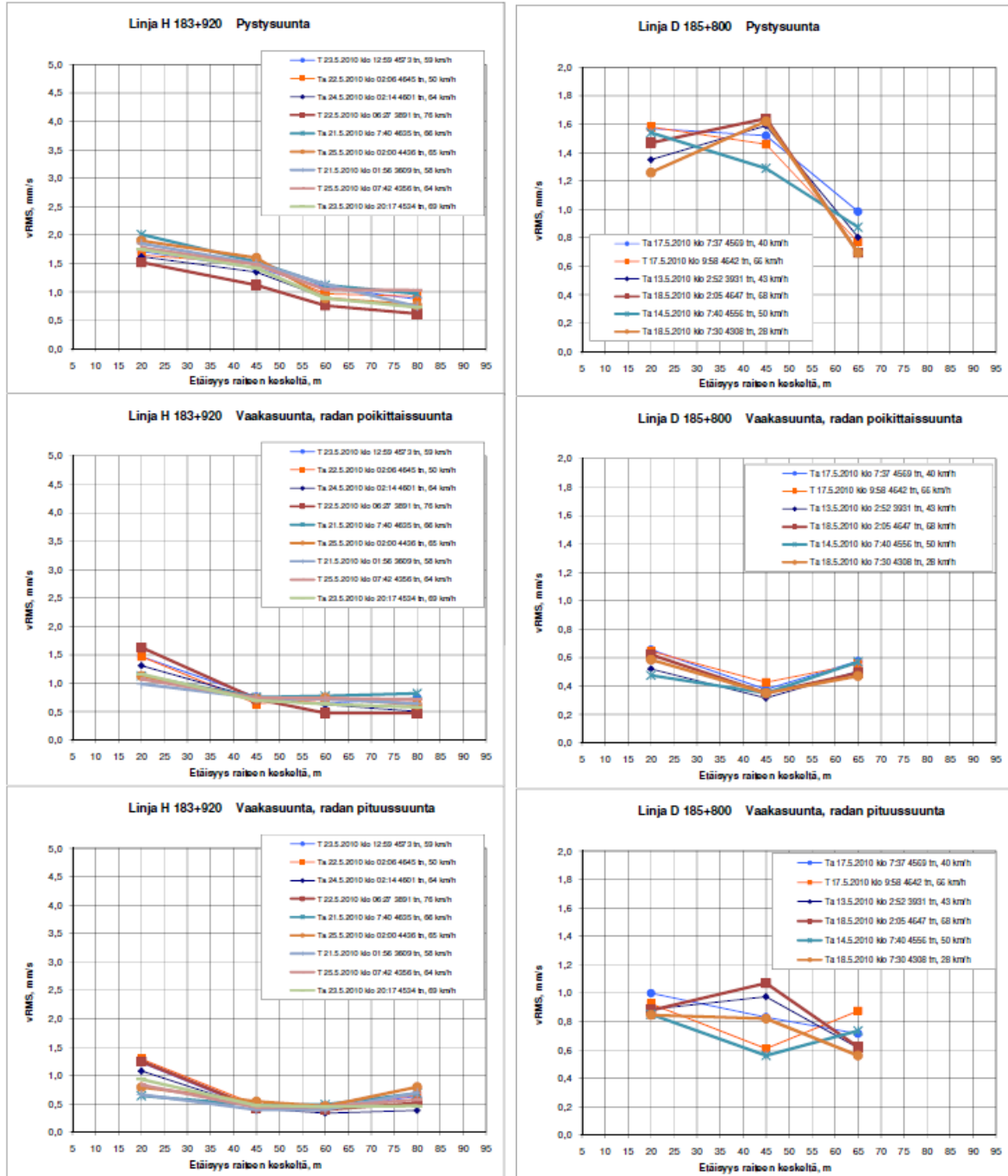
Tärinämittauksia suoritettiin ennen vaimennusseiniä rakentamista 11.5.–25.5.2010 välisenä aikana kahdessa viikon mittaisessa jaksossa. Vaimennusseiniä rakentamisen jälkeen suoritettiin tärinämittauksia 8.–22.12.2010 välisenä aikana kahdessa viikon mittaisessa jaksossa. Mittaukset suoritti Oy Finnrock Ab. Tärinämittausten aikana kohteessa voimassa oleva nopeusrajoitus yli 3000 tonnin tavarajunille poistettiin.

Ensimmäisessä tärinämittauksessa tärinää mitattiin 33 mittauspisteessä kymmenessä eri linjassa. Jälkimmäisessä mittauksessa mittauspisteiden määrää vähennettiin 28 mittauspisteeseen seitsemällä eri linjalla. Osassa mittauspisteissä tärinää mitattiin talojen perustuksista. Muiden mittauspisteiden osalta mittaukset tehtiin maaperästä. Mittauspisteiden sijainnit on esitetty kuvassa 2. Kuvissa 3 on esitetty kahdelta eri mittauslinjalta (linjat H ja D kuvassa 2) yli 3000 tn painavista tavarajunista aiheutuneet pystyvärähtelyt ennen esteen rakentamista. Molemmat linjat sijaitsevat teräsponttiseinän alueella.

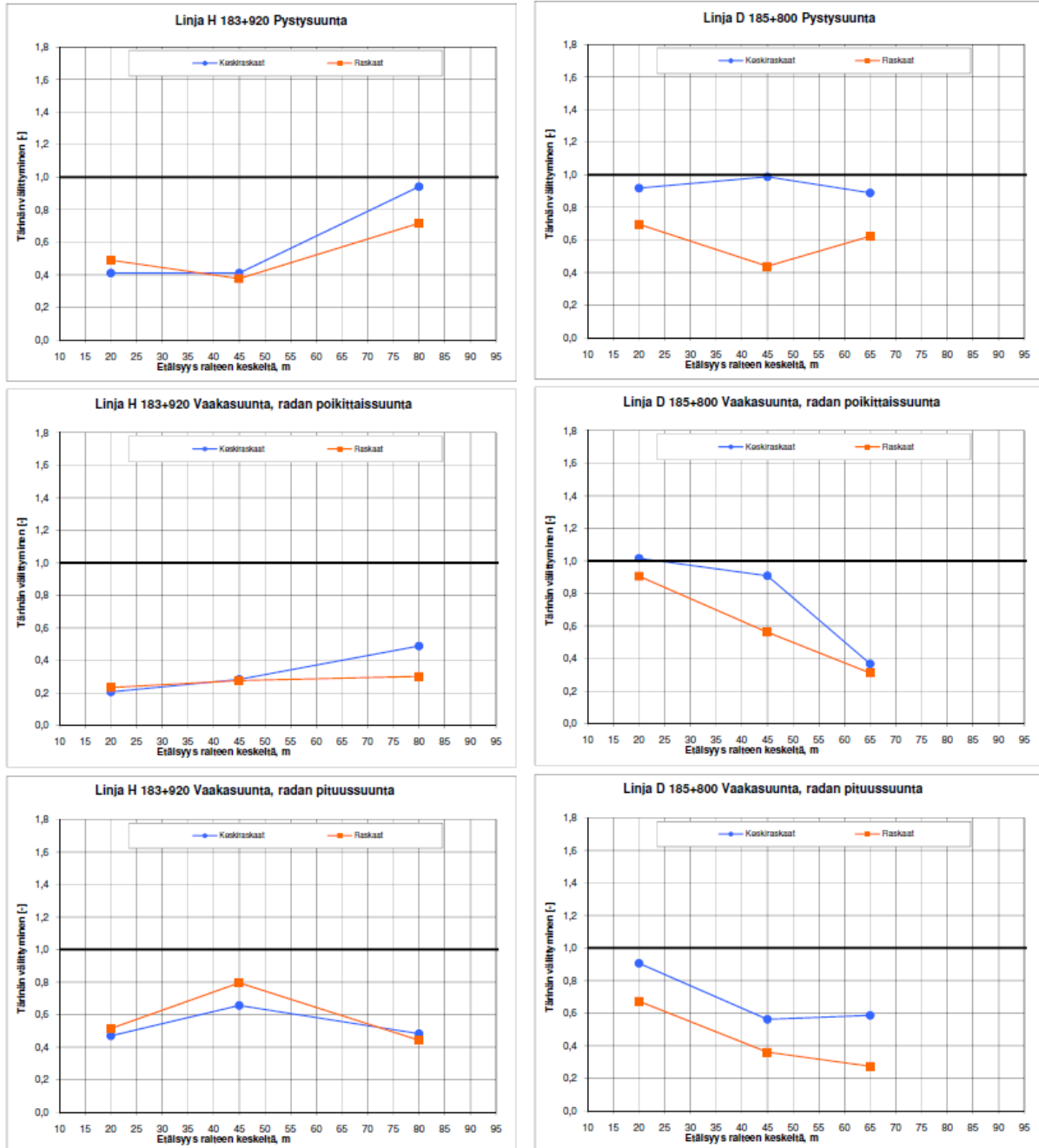
Kuvassa 4 on esitetty esteen rakentamisen jälkeen tehtyihin mittauksiin perustuva värähtelyn pieneneminen. Teräsponteista rakennetun tärinäesteen vaimennusteho pystysuuntaiselle tärinäkomponentille on noin 30–60 % lähellä rataa. Yli 60 metrin etäisyydellä radasta vaimennusteho pystysuuntaiselle tärinäkomponentille on noin 10–40 %. Seinien vaimennusteho vaakasuuntaisille komponenteille ei ole yhtä selkeä kuin pystykomponentille. Vaimennusteho vaihtelee välillä 10–80 %.

Tärinän taajuussisältöä on tarkasteltu pisteissä H1 ja D1. Tulosten perusteella vallitseva taajuus oli kaikissa suunnissa noin 7–9 Hz.

Raportissa (Ramboll 2011) suositellaan asukaskyselyn tekemistä, jolla selvitetään asukkaiden kokeman tärinän häiritsevyyttä nopeusrajoituksen poiston jälkeen. Lisäksi suositellaan lisämittauksia muutamassa pisteessä sulan maan aikaan alueen tärinätason tarkistamiseksi ja asukkaiden kokeman tärinähaitan vertailutiedoksi.



Kuva 3. Raskaista tavarajunista aiheutuneet pysty- ja vaakavärähtelyt, taajuuspainotettu tehollisarvo, kuvan 1 mittauslinjat H ja D (Ramboll 2011).

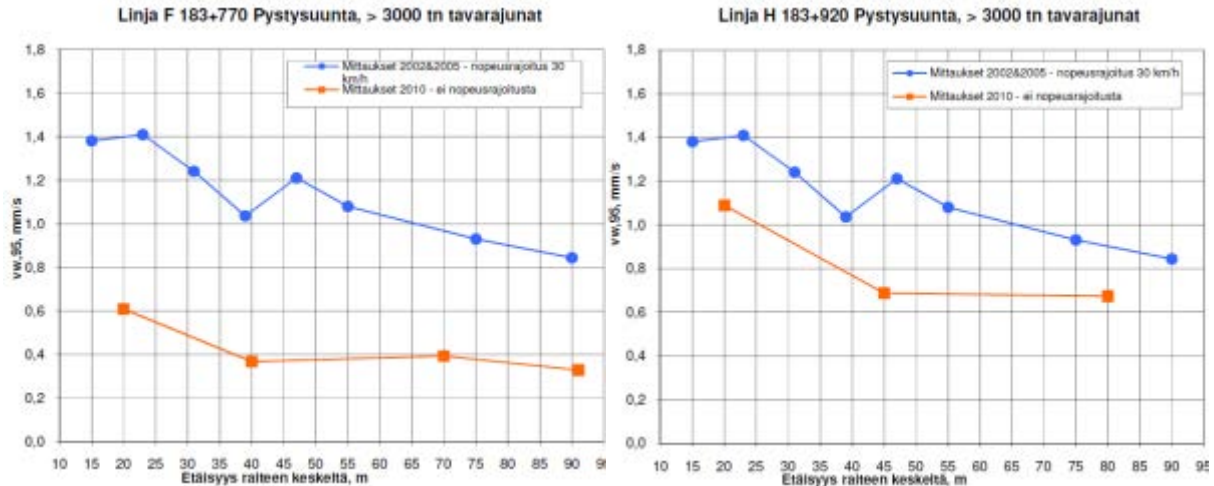


Kuva 4. Tärinän välittyminen teräsponteista rakennetun tärinäesteen läpi, linjat H ja D. Keskiraskaat (< 3000 tonnia, sininen väri) ja raskaat (> 3000 tonnia, punainen väri) tavarajunat (Ramboll 2011).

3.2 Vuosien 2010, 2005 ja 2002 mittauksiin perustuvat tulokset

Tutkimuskohteessa on aiemmin tehty tärinämittauksia LITES-tutkimuksen yhteydessä. Tärinämittauksia tehtiin vuonna 2005 ennen koerakenteiden rakentamista sekä vuonna 2006 ja 2007 koerakenteiden rakentamisen jälkeen. Lisäksi tärinämittauksia on tehty yhteispohjoismaisen NordVib-tutkimusprojektin yhteydessä vuonna 2002.

Kuvassa 5 on vuosina 2002 ja 2005 mitattua tärinää ennen seinien rakentamista yli 3000 tonnin junilla (nopeusrajoitus 30 km/h) verrattu seinien rakentamisen jälkeen vuonna 2010 mitattuun pystyvärtelyyn (nopeus 80 km/h). Suuremmasta nopeudesta huolimatta tärinätaso on selvästi alentunut molemmilla linjoilla.



Kuva 5. Yli 3000 tonnia painavien tavarajunien pystysuuntaisen värähtelyn taajuuspainotetut tehollisarvot, linjalla F stabiloitu este ja linjalla H teräsponttieste. Mitattu 2002 & 2005 ennen seinien rakentamista kun > 3000 tonnin junien nopeusrajoitus on 30 km/h (sininen väri) sekä seinien rakentamisen jälkeen joulukuussa 2010, kun nopeusrajoitus on poistettu (punainen väri) (Ramboll 2011).

Linjalla F, joka sijaitsee syvästabilointikoerakenteen kohdalla (kuva 1), yli 3000 tonnin tavarajunien aiheuttama pystyvärähtely on vaimentunut noin 40–60 % alkuperäisestä tilanteesta. Linjalla H, joka sijaitsee teräsponttiseinän kohdalla (kuva 1), yli 3000 tonnin tavarajunien aiheuttama pystyvärähtely on vaimentunut noin 30–40 % alkuperäisestä tilanteesta.

4 Mittaukset 2006–2007

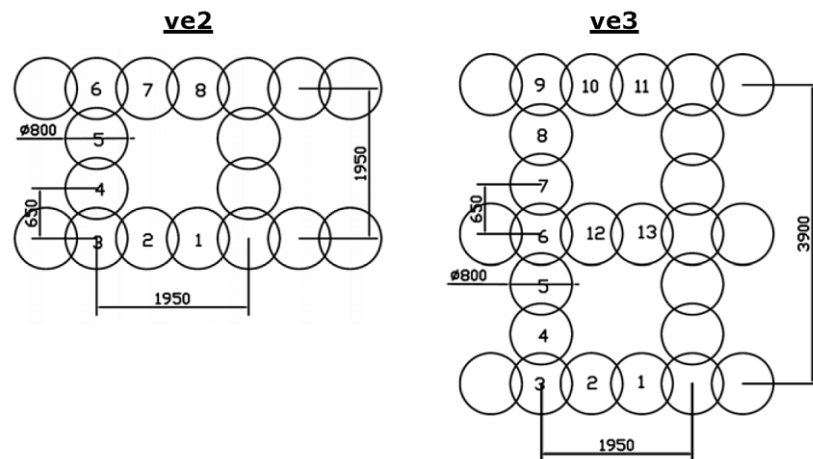
Vuonna 2006 Korian kohteeseen rakennettiin neljä erilaista pilaristabiloimalla valmistettua koe-estettä. Koerakenne sijaitsi kuva 6 esitettyjen linjojen B ja C kohdalla (ratakilometreillä 183+670 – 183+850 ja linjojen D ja E kohdalla 184+100 – 184+300 (Koivisto & al. 2007).

Koerakenteissa käytettiin kahta erilaista seinätyyppiä (kuva 7). Linjalla B oli seinätyyppi ve3 ja muissa tyyppi ve2. Linjoilla B, C ja D syvyys oli noin 20–21 m ja linjalla E noin 15 m.

Mittauksia suoritettiin koerakenteiden kohdilta (mittauslinjat B–E) ja referenssimittauksia tehtiin kohdalta, johon ei rakennettu vaimennusseinää (linja A). Mittaukset tehtiin ennen stabilisointia lokakuussa 2005 ja huhtikuussa 2006 (Geobotnia 2006a) ja kahdesti stabilisoinnin jälkeen lokakuussa 2006 (Geobotnia 2006b) ja syys-lokakuussa 2007 (Promethor 2007).



Kuva 6. Korian koerakenteet (Promethor 2007, Geobotnia 2006).

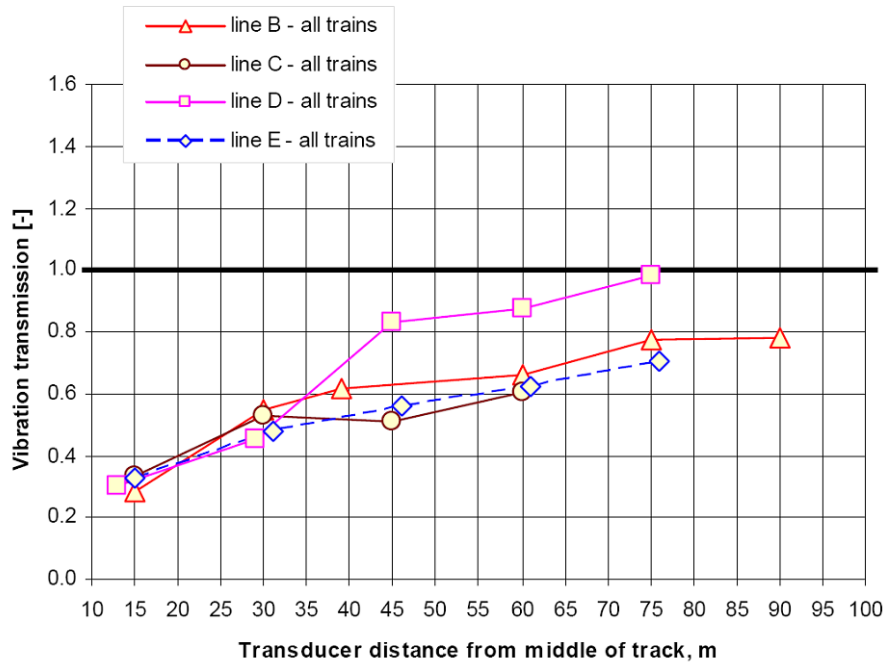


Kuva 7. Koe-esteissä käytetyt pilaristabiloinnit (Koivisto 2007).

Tulosten perusteella värähtely on vaimentunut melko tasaisesti koerakenteilla B, C ja E (kuvat 8). Etäisyydellä 15–60 m keskimääräinen pystysuuntainen vaimentuma on 40–70 % ja yli 60 m etäisyydellä 20 %. Vaakasuorassa suunnassa värähtely vaimeni vain noin 20 %. Keskiraskailla junilla (< 3000 tn) koerakenteet vaimensivat värähtelyä enemmän kuin raskailla junilla (> 3000 tn). Koerakenteella D oli suurilla etäisyyksillä vähemmän vaimenemista kuin muilla kolmella koerakenteella. Tämän voidaan olettaa johtuvan siitä, että mittauslinja D oli lähellä rakenteen D päätä, jolloin osa värähtelyistä on kiertänyt seinän.

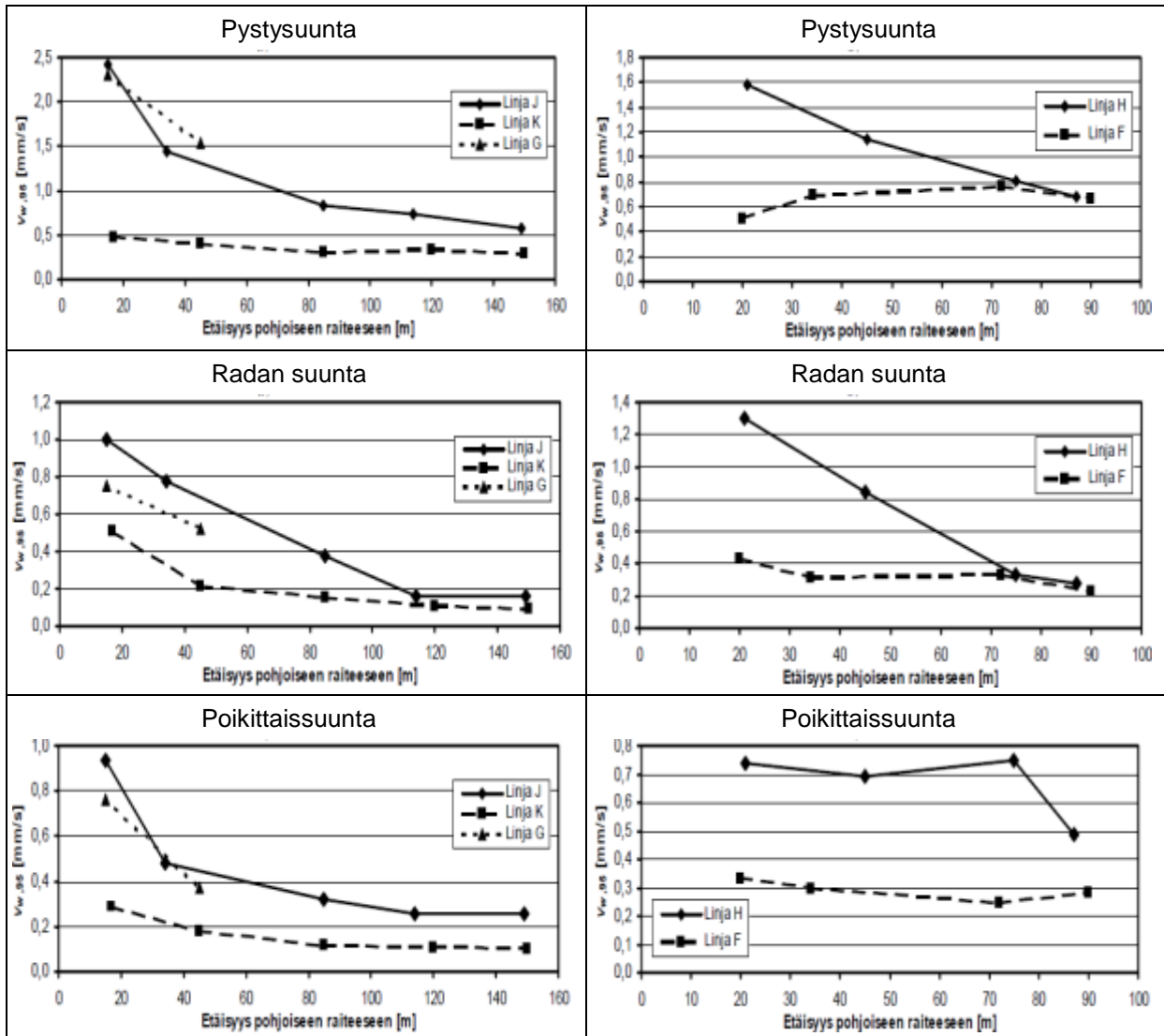
Rakenteen B paksumpi seinätyyppi (verrattuna rakenteisiin C ja E) ei vaikuttanut vaimennuksen suuruuteen. Myöskään pilariseinän syvyydellä (15 tai 21 m) ei ollut vaikutusta.

Paras vaimennus rakenteilla B, C ja E oli 5–10 Hz taajuuksilla pystysuunnassa ja yli 5 Hz taajuuksilla vaakasuunnassa. Vaakasuunnassa vaimentuvat taajuusalueet vaihtelivat paljon eri rakenteilla. Sekä pysty- että vaakasuunnassa mahdollisesti vahvistuvat taajuusalueet olivat yleensä alle 5 Hz ja yli 13 Hz.



Kuva 8. Pystysuuntaisen värähtelyn vaimennusvaikutus eri mittauslinjoilla (Koivisto et. al. 2007). Mittauslinjat vastaavat koerakenteita B, C, D ja E. Tulokset eivät sisällä viimeisimpiä seurantamittauksia (kuva 9, Promethor 2007).

Promethorin (2007) pilaristabiloitujen esteiden kohdalta (linjat F ja K kuvassa 6) tehdyt seurantamittausten tulokset (kuva 9) tukevat aikaisempia tuloksia, mutta näiden tulosten perusteella tärinäeste näyttää vaimentavan merkittävästi myös vaakavärähtelyä. Nämä mittaukset suoritettiin neljässä jaksossa, joista jokaisen kesto oli neljä arkivuorokautta. Referenssipisteiden tuloksista on todettu, että tärinän voimakkuus oli melko samanlaista eri mittausjaksojen aikana.



Kuva 9. Mitatut värähtelyn tunnusluvut eri värähtelysuunnissa. Tulokset koerakenteiden kohdilta sekä kohdilta, joilta tärinäeste puuttuu. Osakuvien alin kuvaaja vastaa tärinäesteen tapausta (kuvasarjassa oikealla linja F ja vasemmalla linja K). Linjojen G, J ja H kohdalta tärinäeste puuttui (Promethor 2007).

Lähdeviitteet

Geobotnia. 2006a. Syvästabiloinnin käyttö rautatieliikenteen tärinän vaimentamisessa Koriolla. Tärinämittaukset ennen stabilointia, lokakuu 2005 ja huhtikuu 2006. Työ n:o 10061.

Geobotnia. 2006b. Syvästabiloinnin käyttö rautatieliikenteen tärinän vaimentamisessa Koriolla. Tärinämittaukset stabiloinnin jälkeen, lokakuu 2006. Työ n:o 10061.

Ramboll. 2011. Korian tärinäseinät. Loppuraportti. Ramboll Finland Oy.

Koivisto, K., Havola, K., Forsman, J. 2007. LITES 2/Finnish Rail Administration – Eliminating traffic induced vibrations by means of deep stabilisation, phase 2. Report 2: Korja test structures – construction and measurements. Ramboll Finland Oy.

Promethor. 2007. Raideliikenteen aiheuttaman tärinän mittaus. Kohde: Sopenpellon ja Hurjanhaan alue, rata-km 183, Korja. Mittaukset 24.9.–16.10.2007. Raportti nro PR-TÄR1053.

Muut mahdolliset dokumentit, johon lähteessä (Ramboll 2011) on viitattu, mutta jotka eivät olleet käytössä:

LITES 2 -projekti: Report 1

Tärinämittaukset 11.5.–25.5.2010, Oy Finnrock Ab

Tärinämittaukset 8.–22.12.2010, Oy Finnrock Ab

Tärinämittaukset 2002

Tärinämittaukset 2007

LIITE C Raunistula

Koerakennuskohde sijaitsee Raunistulan asuinalueella Turussa, jossa Toijala-Turku-junaradan varrella. Koerakenteina käytettiin pystysuoraan asennettua ponttiseinää sekä stabilointipilareista koostuvaa rakennetta. Tärinäeste sijoitettiin kilometrivälille 271+980–272+420. Pohjamaa alueella on paksua savikkoa.

1 Pohjasuhteet

Raunistulan maaperä on tyypillistä lounaissuomalaista vanhaa merenpohjaa. Alue on hyvin tasaista, maanpinnan korkeus on keskimäärin tasolla +12,00 m. Ylin maakerros on 0,3–1,0 m paksu kuivakuorisavikerros, jonka vesipitoisuus on noin 20 % ja siipikairausten perusteella redusoimaton leikkauslujuus on 14–37 kPa.

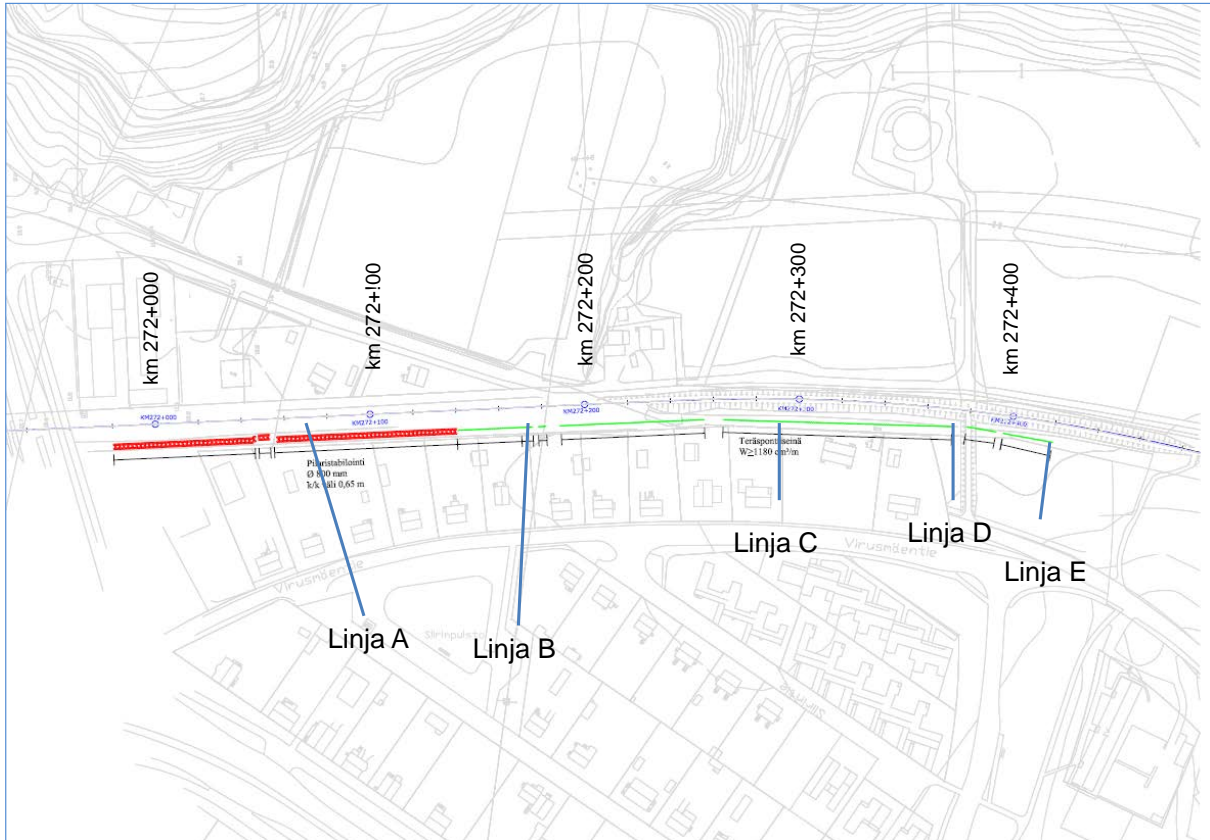
Kuivakuorikerroksen alla on noin 20–25 metriä paksu savikerrostuma jonka redusoimaton leikkauslujuus on 25–43 kPa. Saven alla on 5–10 m paksu silttiä ja hiekkaa sisältävä kerros. Ratavälillä 272+360 – 272+450 km savikerrokset ohenevat siten, että kohdalla 272+450 kaikkien savikerrosten yhteispaksuus on enää noin 10 m. Suoritetut kairaukset ovat päättyneet määräsyyvyteen tai kiveen, eikä kallion pintaa ole varmennettu porakonekairauksin.

Tutkimusalueen länsipuolella, jonkin matkan päässä, maan pinta nousee melko jyrkästi paljaana kallion tasoon +25,00 m asti.

2 Tärinäesteet

Koerakenteina käytettiin pystysuoraan asennettua ponttiseinää sekä stabilointipilareista koostuvaa rakennetta. Ponttiseinä asennettiin vuonna 2009 kilometrivälille 272+140 – 272+420 (pituus 280 m), ja stabilointipilarit välille 271+980 – 272+140 (pituus 160 m). Koerakenteiden sijainti kartalla on esitetty kuvassa 1.

Koerakenteet ovat geometrialtaan samat kuin liitteessä B esitettyssä Korian kohteessa. Ponttiseinä koostui lukkoon (ponttiin) lyödyistä 12 m pitkistä teräsponteista, joiden taivutusvastus on 1180 cm³/m. Ponttien yläpäät liitettiin hitsiliitoksen kiinni jatkuvaan vaakapalkkiin. Stabiloitu koerakenne koostui syvästabiloiduista 16 m pitkistä kalkkisementtipilareita 800 mm halkaisijalla. Ne limitettiin keskiöväälillä 0,65 m kennomuotoiseksi rakenteeksi. Rakenteen kokonaisleveys kohtisuoraan junarataa vasten on 2,7 metriä. Seinämän pituus junaradan suuntaisesti on 160 m. Sideaineena pilareissa käytettiin 1:1 kalkki-sementtiseosta (tiheys 160 kg/m³). Tavoitelujuus oli 150 kPa ja pilarikairauksissa keskimääräinen leikkauslujuus oli yli 200 kPa.



Kuva 1. Raunistulan koerakenteet (Ramboll 2010, Ramboll 2011a). Alueella on sekä pilari-stabiloimalla (punainen väri) että teräsponteilla (vihreä väri) rakennettuja tärinäesteitä.

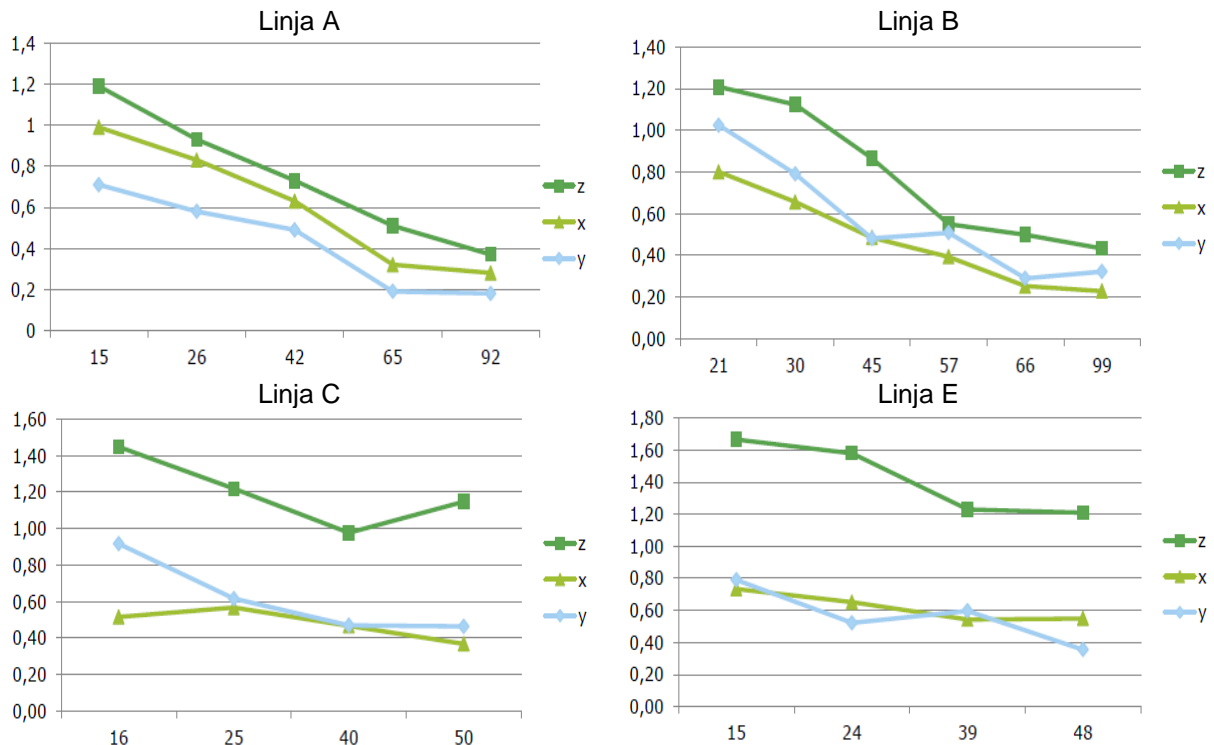
3 Mittaustulokset

Mittaukset suoritettiin Kalliotekniikka Oy:n ja Promethor Oy:n toimesta. Ennen vaimennus-rakenteiden rakentamista mittaukset suoritettiin viikon mittaisina ajanjaksoina kesäkuussa ja elokuussa 2009. Mittauksia suoritettiin yhteensä 46 eri pisteessä, viidellä eri mittalinjalla (kuva 1). Mittaukset suoritettiin maaperästä sekä taloista.

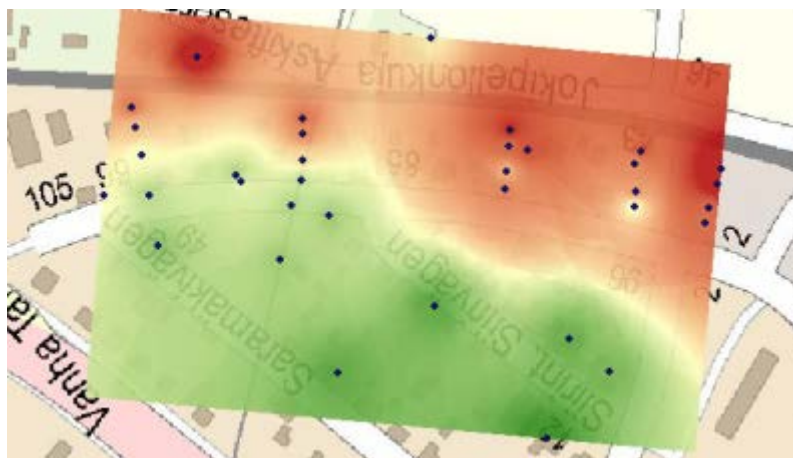
Rakentamisen jälkeiset mittaukset suoritettiin kesäkuussa 2010. Tällöin mittauspisteiden määrä oli supistettu 32:een. Varsinaisia mittalinjoja mitattiin vain neljä, linjalta D ei tehty mit-tauksia. Tärinämittausten lisäksi tilattiin junatietoja ja mitattiin ohikulkevien junien nopeuksia tärinäanalyysien tueksi.

Kuvissa 2 ja 3 on esitetty värähtelyjen suuruus eri suunnissa ennen tärinäesteiden rakenta-mista. Hallitsevat pystyvärähtelyn taajuudet maaperässä sattuivat mittauspisteestä riippuen terssikaistoille 4, 5 tai 6,3 Hz.

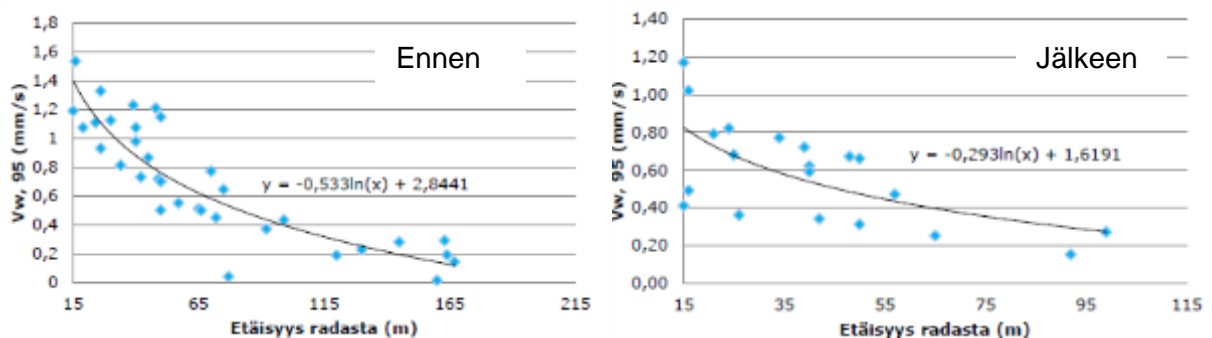
Kuvissa 4 ja 5 on esitetty tärinäesteiden vaikutus värähtelyn suuruuteen. Mitatusta junalii-kenteestä aiheutuvasta värähtelystä voidaan päätellä tärinän vähentyneen 25–50 %. Par-haiten vaimeni pystysuuntainen tärinä (25–75 %), ponttiseinärakenteen vaakasuuntaisen tärinän vaimennusteho oli heikoin (< 25 %). Parhaat tulokset saavutettiin stabilointiesteellä mittalinjalla A. Taloista mitatut tärinät vähenivät 30 %.



Kuva 2. Mitattu värähtely linjoilla A, B, C ja E (kuva 1) ennen tärinäesteiden rakentamista (z-pystysuunta, y-radnan suunta, y-poikittaissuunta). Pystyakselilla värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}$ (mm/s) ja vaaka-akselilla mittauspisteiden etäisyys radasta (m). (Ramboll 2011a).

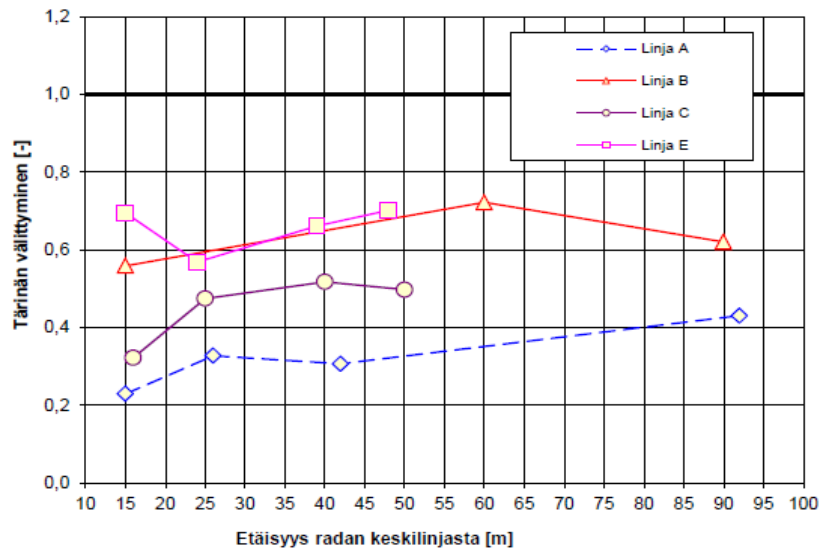


Kuva 3. Maan pystyvärähtelyn $v_{w,95}$ -arvokäyrästä ja mittauspisteet ennen tärinäesteiden rakentamista (Ramboll 2011a).

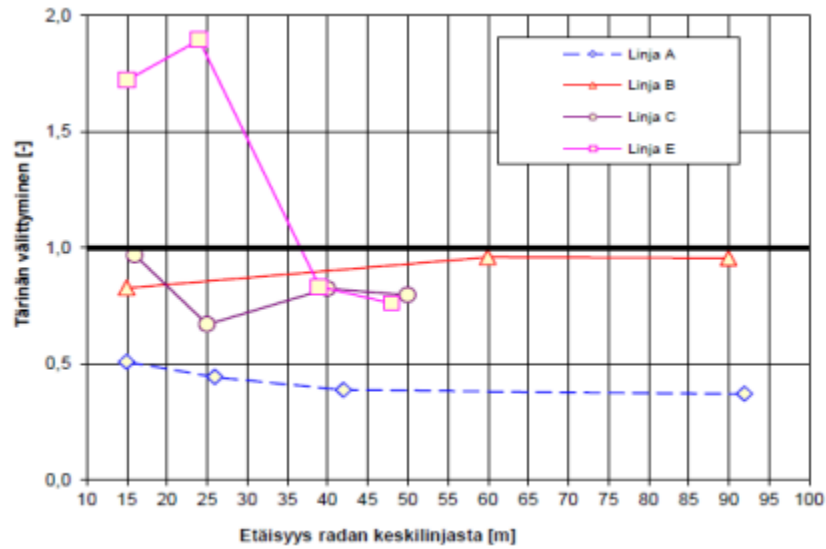


Kuva 4. Kaikkien mitattujen pystyvärähtelyjen (z-suunta) tunnusluku ennen tärinäesteiden rakentamista ja sen jälkeen (Ramboll 2011a).

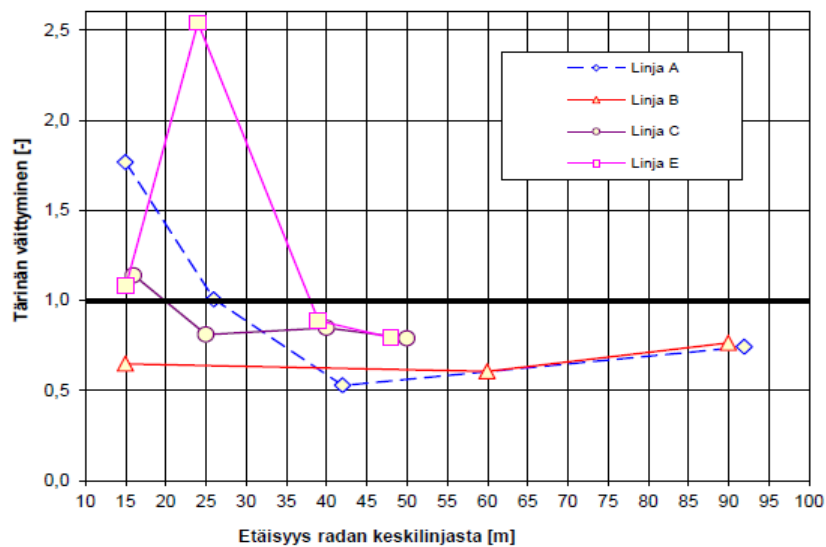
Pystyvärähtely



Vaakavärähtely radan pituussuunnassa



Vaakavärähtely poikittaissuunnassa



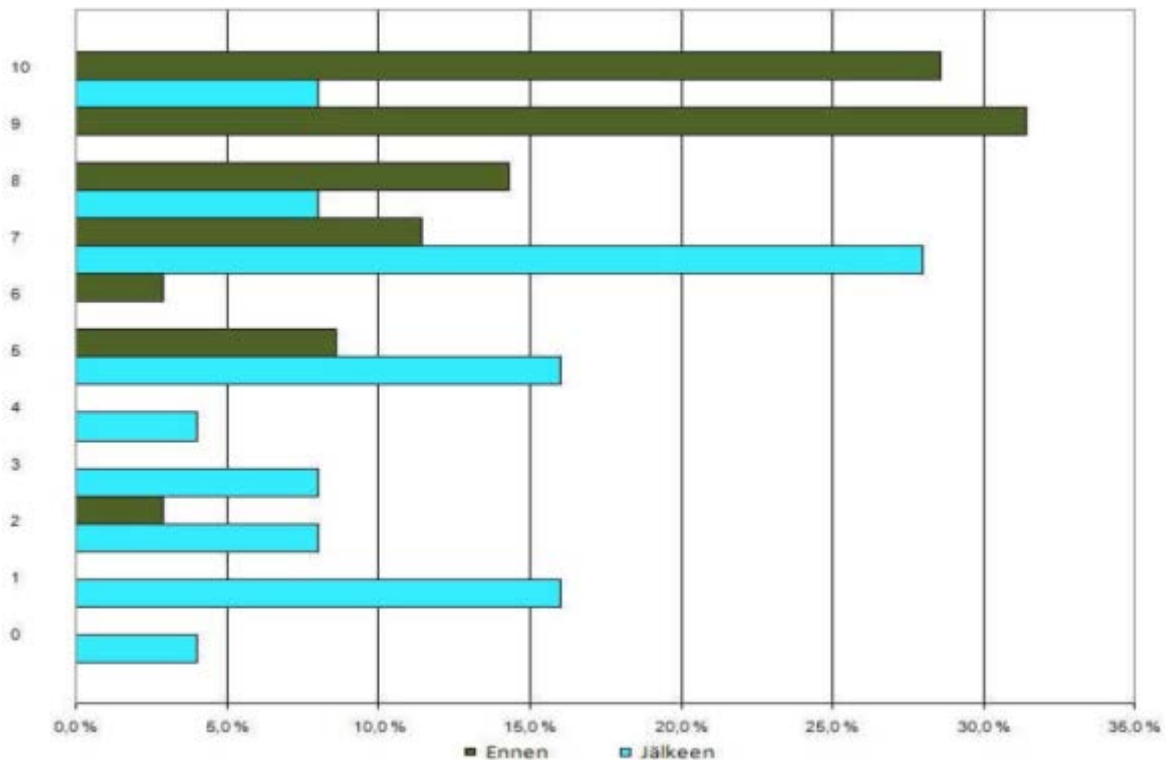
Kuva 5. Tärinän välittyminen teräsponteista rakennetun tärinäesteen läpi (Ramboll 2011a).

4 Kyselytutkimukset

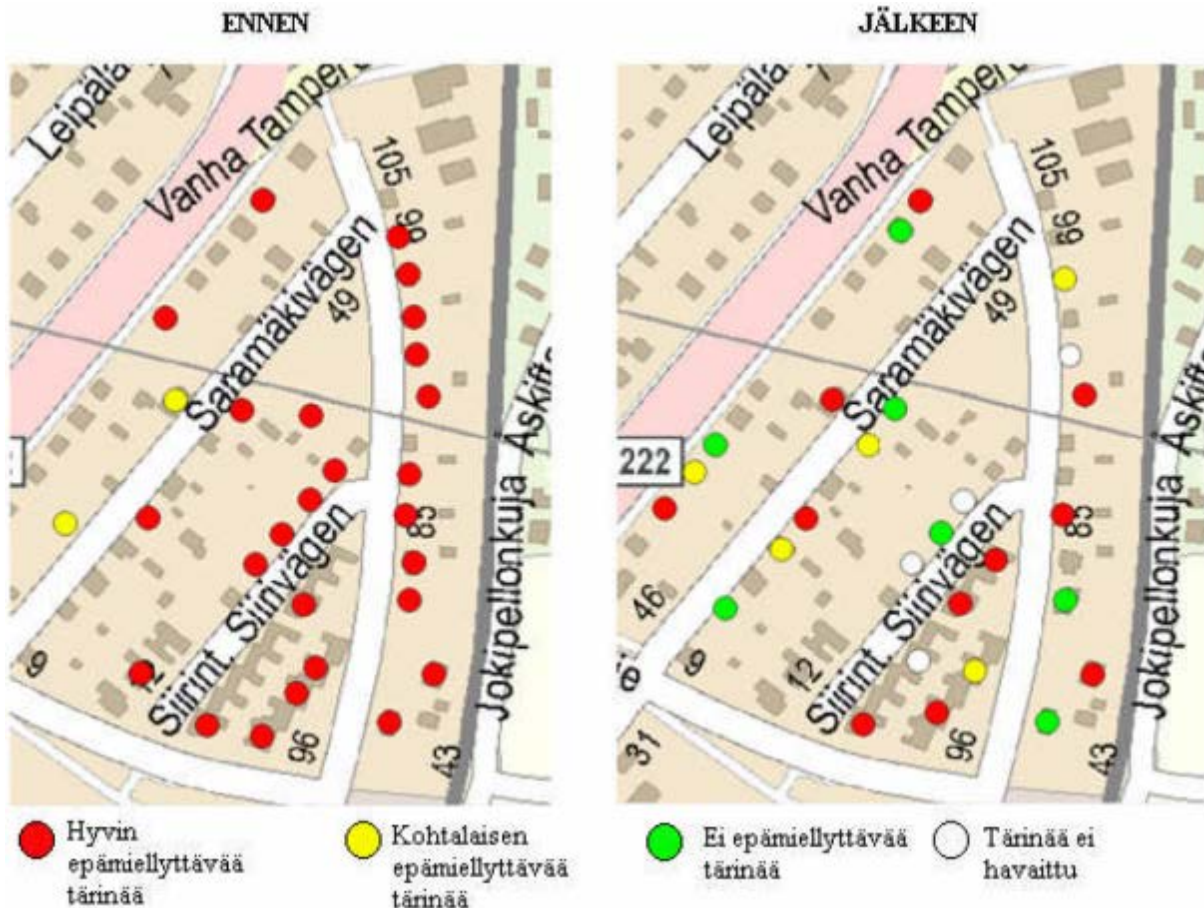
Ennen tärinäesteiden rakentamista tehtyyn ensimmäiseen asukaskyselyyn vastasi 37 asukasta (vastausprosentti oli 54 %). Toiseen asukaskyselyyn vastasi 26 henkilöä (vastausprosentti 44 %). Vastaajien jakauma oli molemmissa kyselyissä lähes sama, noin 60 % vastaajista oli miehiä, lähes kaikki olivat yli 40-vuotiaita ja noin kolmasosa eläkeiän ylittäneitä. Ensimmäisen ja toisen kyselyn vastaajista vain osa oli samoja henkilöitä.

Ennen rakentamista suoritetun kyselyn vastauksista kaikki vastaajat kokivat tärinän hyvin tai kohtalaisen epämiellyttäväksi (kuva 5, arvio 5–10). Jälkimmäisen kyselyn vastauksissa vastaava tulos oli laskenut 60 prosenttiin. Numeerinen arvio tärinähaitasta laski arvosta 8,25 arvoon 5,4.

Puolet vastaajista oli sitä mieltä että asuinviihtyvyys on parantunut tärinäesteiden rakentamisen jälkeen, mutta toinen puoli vastanneista koki, ettei viihtyvyydessä ole tapahtunut muutosta, yksi jopa koki sen heikentyneen (kuva 2).



Kuva 5. Tärinän häiritsevyyden asteikolla 1–10 ennen tärinäesteiden rakentamista ja sen jälkeen (Auvinen 2010).



Kuva 6. Tärinän häiritsevyys kyselytutkimuksen perusteella ennen tärinäesteiden rakentamista ja sen jälkeen (Auvinen 2010).

Lähdeviitteet

Auvinen, T. 2010. Junaliikenteen aiheuttama tärinä ja sen vähentämisen vaikutus asuinviihtyvyyteen. Diplimityö.

Promethor. 2008. Tärinäselvitys Turku/Raunistula. Mittaukset 26.5.–16.6.2008 ja 13.–22.7.2008. Raportti PR-TÄR1084.

Promethor. 2010. Tärinäselvitys Turku/Raunistula. Mittaukset suoritettu 9.–23.6.2010. Raportti PR-TÄR1150.

Ramboll. 2011a. Raunistulan tärinäseinäkokeilu. Tärinämittausraportti. Ramboll Finland.

Ramboll. 2011b. Raunistulan tärinäseinäkokeilu. Loppuraportti. Ramboll Finland Oy.

Ramboll. 2011c. Raunistulan tärinäseinäkokeilu. Koerakentamis- ja kyselytutkimusraportti. Ramboll Finland Oy.

Muut mahdolliset dokumentit, johon lähteessä (Ramboll 2011a) on viitattu, mutta jotka eivät olleet käytössä:

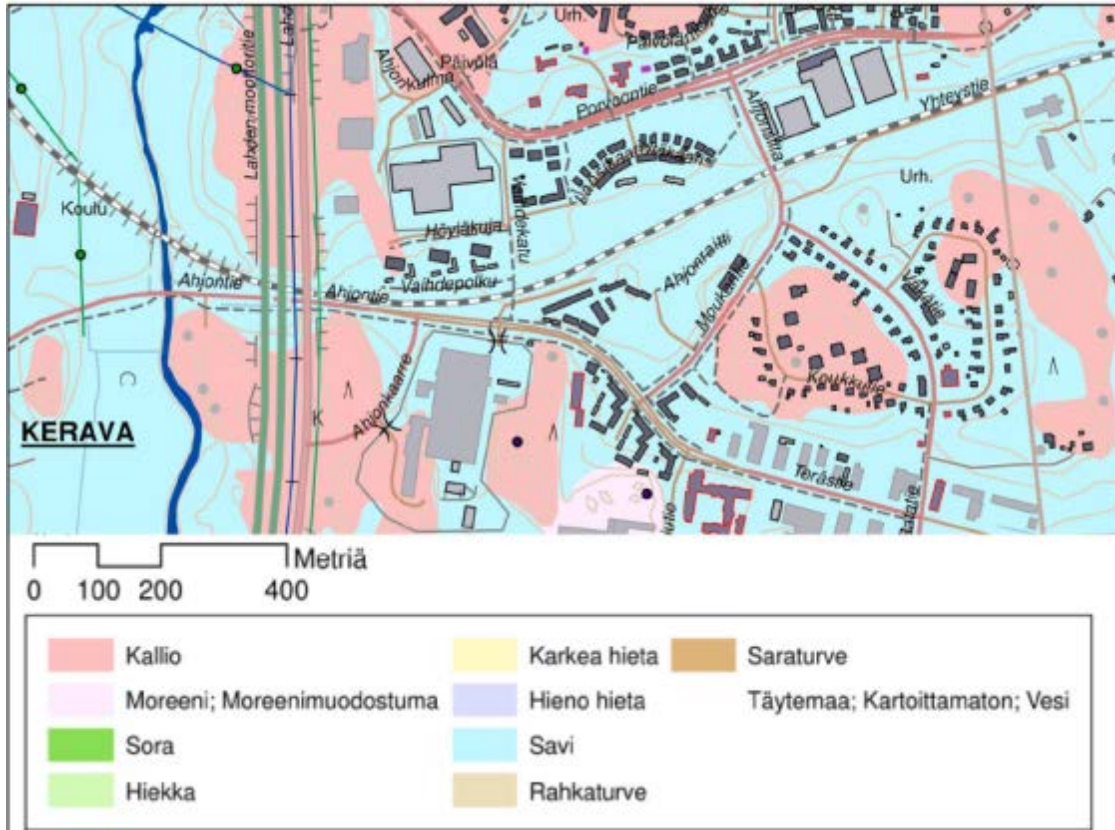
Kalliotekniikka Oy:n mittaukset ennen esteiden rakentamista 2008

Kalliotekniikka Oy:n mittaukset ennen esteiden rakentamisen jälkeen 2010

Stabiloidun materiaalin pilarikairauksien mittauspöytäkirjat

LIITE D Ahjo

Tarkasteltava alue sijaitsee Keravan kaupungissa, Ahjon kaupunginosassa. Alue sijoittuu Kerava-Sköldvik-radan etelä- ja pohjoispuolelle ratakilometrivalille 30+750 – 31+500. Alue rajoittuu lännessä Lahden moottoritiehen ja idässä Ahjonsiltaan (kuva 1).



Kuva 1. Keravan Ahjon alueen maaperäkarta. Lähde GTK. (Ramboll 2012).

1 Pohjasuhteet

Radan pohjoispuoli. Alueen maanpinta vaihtelee välillä +33,3 – +36,6. Maaperä koostuu pääosin savikosta, joskin Vaihdekadulta länteen savikko alkaa merkittävästi ohenemaan ja loppuu kokonaan Lahden moottoritiele tultaessa. Yleisluontoinen maaperäkarta on esitetty kuvassa 1. Savikerroksen syvyys radan läheisyydessä vaihtelee 0–9,2 m maan pinnasta. Radalta pohjoiseen päin mentäessä savikerros ulottuu enimmillään 12 m syvyyteen maanpinnasta. Saven vesipitoisuus on välillä 45–95 % ja redusoimaton leikkauslujuus välillä 4,5–16 kPa.

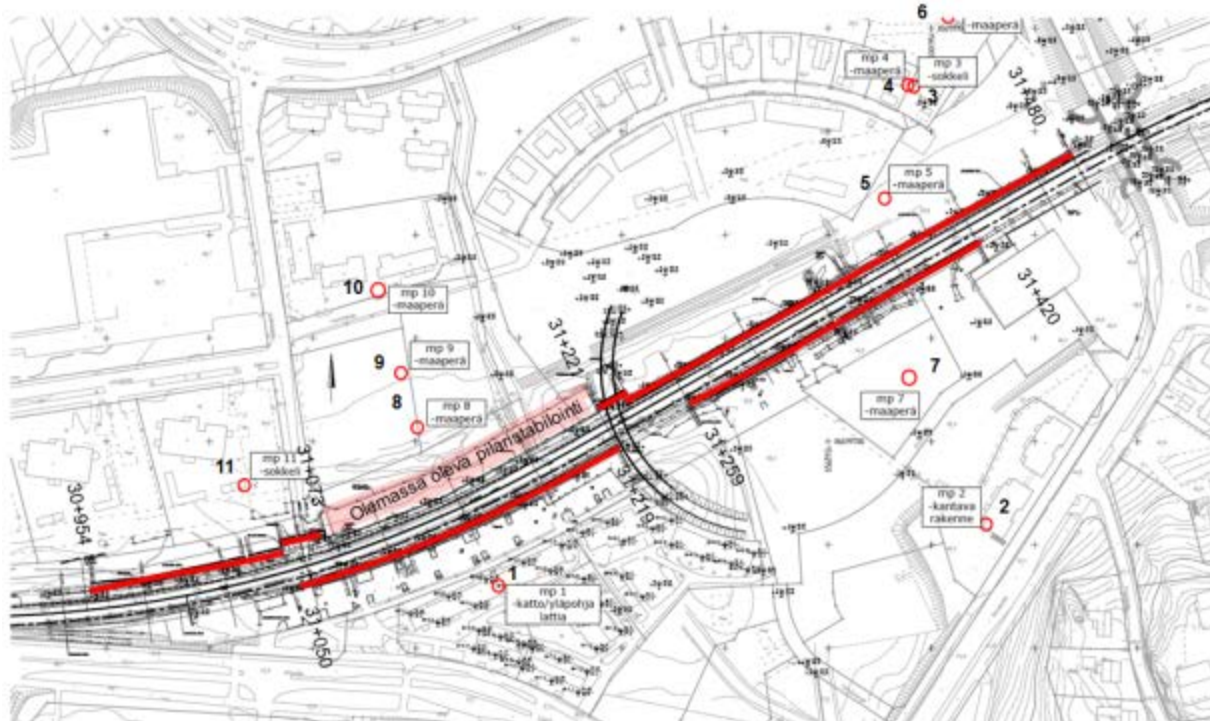
Radan eteläpuoli. Alueen maanpinta vaihtelee välillä +33,8 – +41,3. Maaperä koostuu pääosin savikosta, joskin km 31+240 radan eteläpuolella on pienikokoinen moreenikumpare. Savikerroksen syvyys radan läheisyydessä vaihtelee 0–9,2 m maan pinnasta. Radalta etelään päin mentäessä savikerrospääosin ohenee. Saven vesipitoisuus on välillä 45–95 % ja redusoimaton leikkauslujuus välillä 4,5–16 kPa.

Rata on perustettu maanvaraisesti ja kulkee pääosin savesta koostuvalla maaperällä.

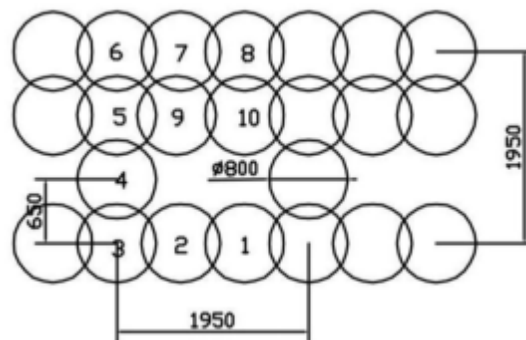
2 Tärinäesteet

Tarkasteltavalle alueelle tehtiin keväällä 2013 pilaristabilointiseinämiä radan molemmin puolin (kuva 2). Pohjoispuolella este on välillä 30+955 – 31+480, josta osan muodostaa jo aikai-

semmin tehty pilaristabilointi. Eteläpuolella este on kahtena jaksona, rata-km 31+050 – 31+220 ja 31+260 – 31+420. Stabilointipilareiden koko on \varnothing 800 mm (kuva 3). Pilarit on ulotettu savikerroksen läpi kovaan pohjaan. Pilariseinämät on sijoitettu mahdollisimman lähelle rataa, kuitenkin siten että ne tehdään ratapenkereen ulkopuolelle.



Kuva 2. Keravan Ahjon koerakenteet ja värähtelyn mittauspisteet (Finnrock 2013a).



Kuva 3. Stabilointiseinämän pilarikaavio (Ramboll 2012).

3 Mittaustulokset

Keravan Ahjon alueelle radan molemmin puolin asennettiin yhteensä 10 mittauspistettä. Mittauspisteistä 4 kpl asennettiin olemassa oleviin rakennuksiin ja 6 kpl maakiiloilla maamittauspisteisiin (kuva 2). Mittaukset tehtiin ennen tärinäesteen rakentamista että sen jälkeen. Mittausajankohdat olivat 27.2.–11.3.2013 ja 26.8.–13.8.2013. MP7:stä ei saatu vertailutulosta, sillä mittauksen aikana tontilla oli käynnissä paalutus- ja maankaivutyöt. Ensimmäisen mittausajankohtana maaperä oli routainen ja maasto runsasluminen. Toisen mittausjakson alussa maaperä oli kuivaa (pinta halkeili paikoittain), mutta myöhemmin mittausjakson aikana tuli useita rankkasateita.

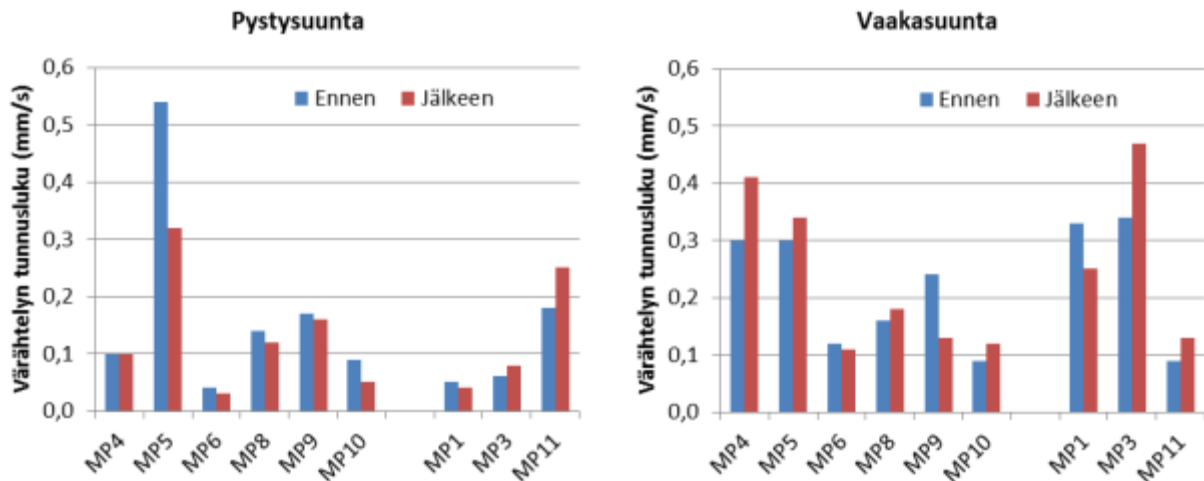
Rakennuksissa sijaitsevat mittauspisteet olivat:

- MP1: Ahjontie 6, Kerrostalon kattotaso.

- MP2: Moukaritie 2, väestösuoja, pisteeseen ei tullut mittaustuloksia.
- MP3: Itäkaari 14, omakotitalon sokkeli.
- MP11: Höyläkuja 2, ulkovaraston sokkeli.

Mittaustulosten perusteella alueen liikennetärinätaasoissa ei tapahtunut merkittävää muutosta pilaristabiloinnista huolimatta (kuva 4). Ainoastaan mittapisteessä MP5 pystyvärähtelyssä on tapahtunut merkittävä pieneneminen. Merkittävää on että useimmissa mittauspisteissä vaakavärähtely on pystyvärähtelyä suurempi ja niissä tärinäeste näytti jopa hieman kasvattavan vaakavärähtelyä.

Maaperän värähtelyssä merkittävin terssikaista ennen tärinäesteen rakentamista olivat yleensä 6,4 tai 8 Hz. Rakentamisen jälkeen merkittävin terssikaista oli yleensä 4 Hz. Epäselvää on, johtuuko ero tärinäesteen rakentamisesta tai mahdollisesta roudasta ensimmäisen mittauksen aikana. Mittausraportissa (Finnrock 2013a) kuitenkin todetaan, että referenssimittauspisteen tärinätaaso on pysynyt yhtä poikkeavaa mittaustulosta lukuun ottamatta samalla tasolla kuin kahdessa aikaisemmassa vuoden 2011 kesällä tehdyssä mittauksessa.



Kuva 4. Mitattujen pystyvärähtelyjen ja suurimpien vaakavärähtelyjen tunnusluku $v_{w,95}$ ennen tärinäesteiden rakentamista ja sen jälkeen.

Lähdeviitteet

Finnrock. 2011. Liikennetärinämittaus. Keravan Ahjo. As Oy Senaattori. As Oy Notaari.

Finnrock. 2013a. Pilaristabilointiseinämä. Keravan Ahjo. Liikennetärinäselvitys ajankohdasta ennen vaimennusta.

Finnrock. 2013b. Pilaristabilointiseinämä. Keravan Ahjo. Seurantamittausraportti seinämän valmistumisen jälkeen.

Ramboll. 2012. Ahjo, Kerava. Selvitys tärinäestotoimenpiteistä.

Muut mahdolliset dokumentit, jotka eivät olleet käytössä:

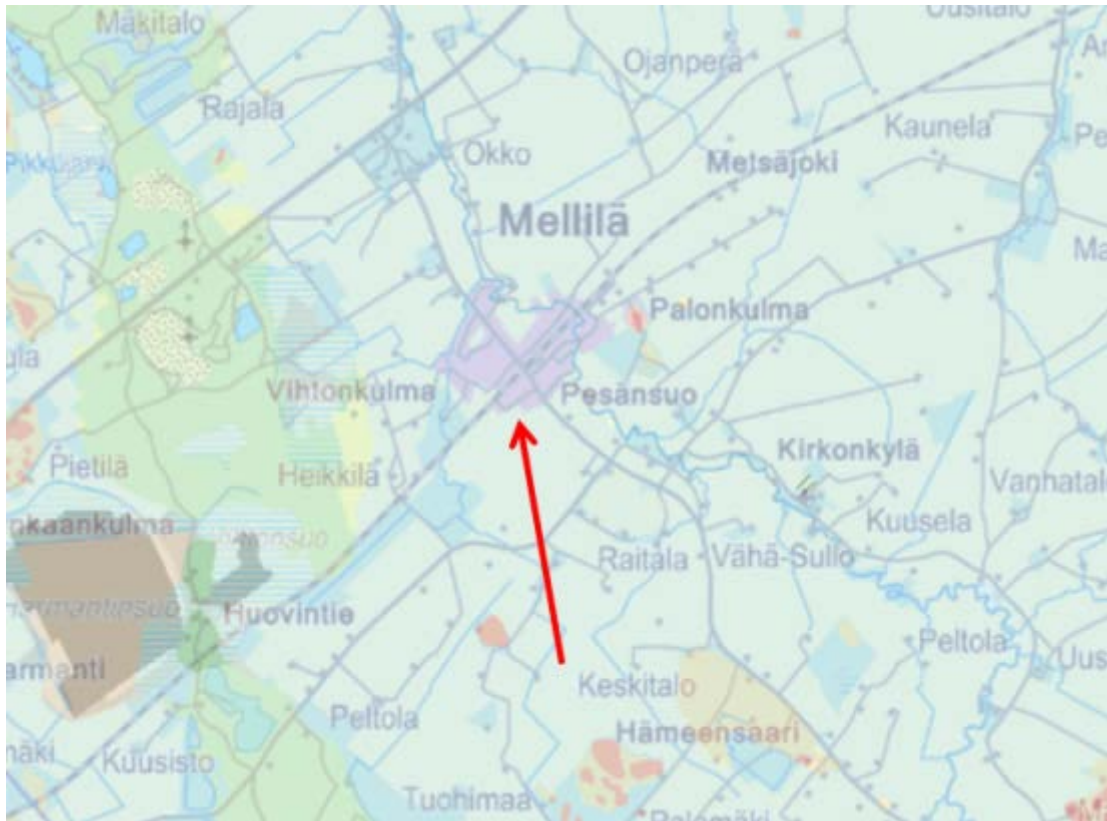
Ahjossa on paljon eri aikoina erilaisilla nopeusrajoituksilla tehtyjä mittauksia. Erityisesti Ahjontie 6:n referenssipisteestä on paljon pitkäaikaismittausten tuloksia, jotka käsittävät myös eri vuodenaikoina tehtyjä mittauksia.

Stabiloidun materiaalin pilarikairauksien mittauspöytäkirjat.

LIITE E Radan ja maaperäolosuhteiden vertailu

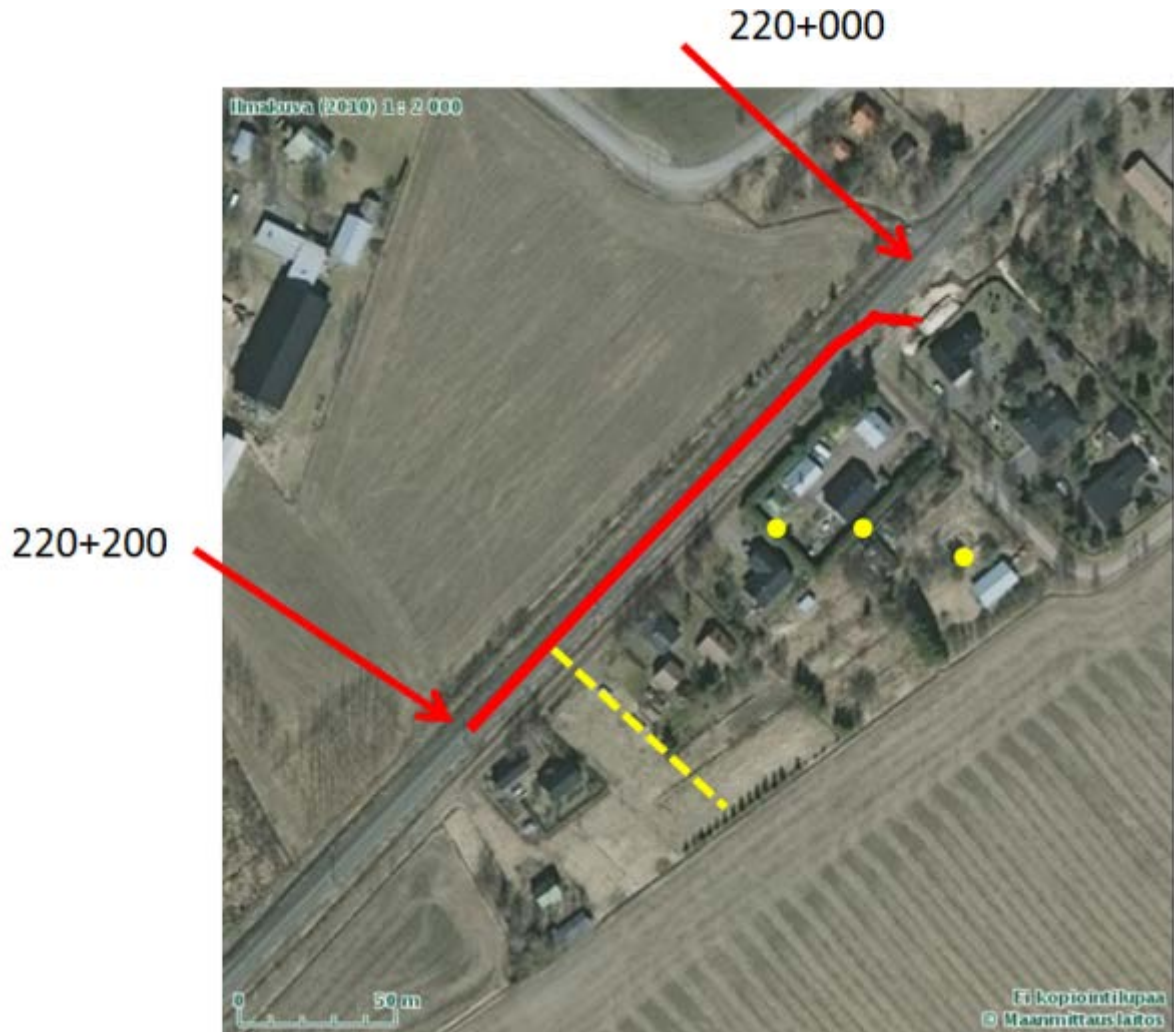
1 Mellilä

Pohjasuhteista on heikosti tietoa. Ainoa saatava maaperätieto oli yleisluontoinen maaperäkartta. Mellilän alue, mukaan lukien koekohde on kokonaisuudessaan savikkoalueeksi tulkittu, kuva 1.



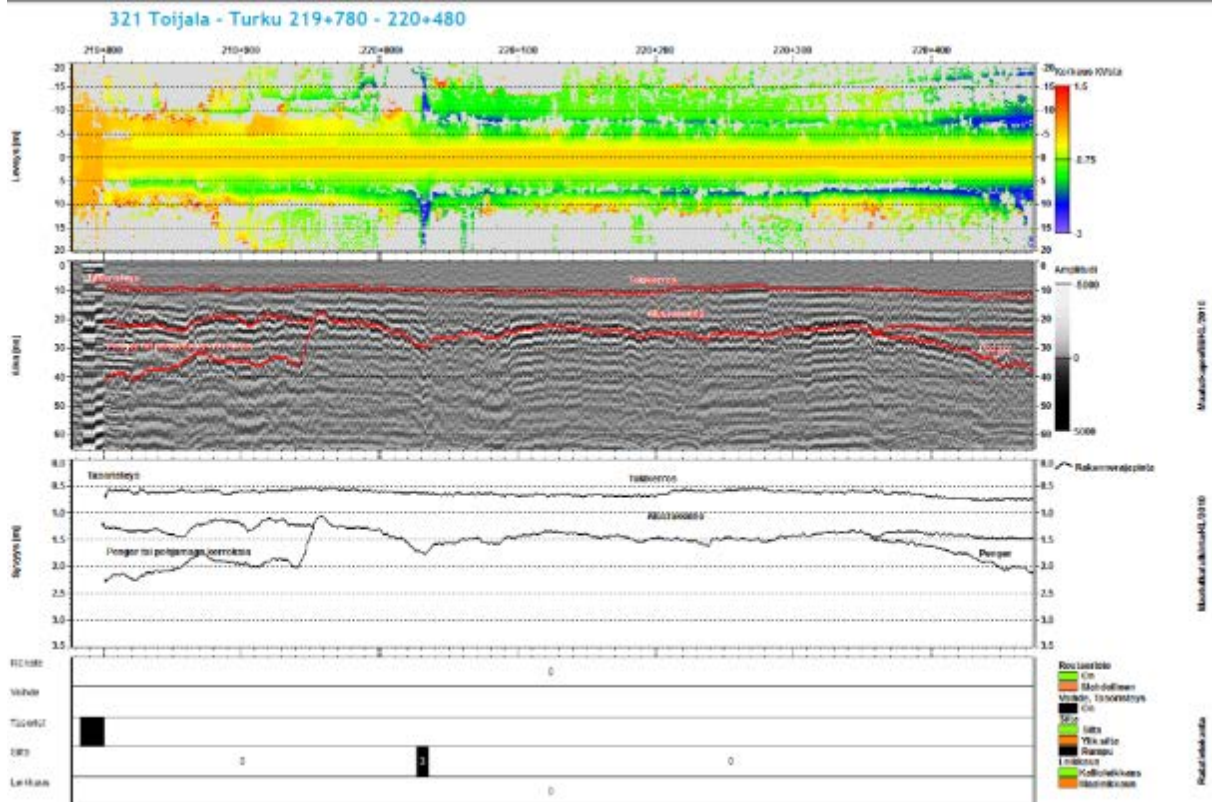
Kuva 1. Mittauskohteen sijainti maaperäkartalla (Lähde: GTK).

Kohde on tulkittu sijainneeksi kuvan 2 osoittamalla kohdalla eli vaimennusseinä sijaitsi n. välillä km 220+010 – km 220+200. Mittalinjat on kuvan mukaan tulkittu kohdalle km 220+070 (kolme mittauspistettä +220+040 – 220+100 välillä) sekä noin km 220+160 kohdalla.



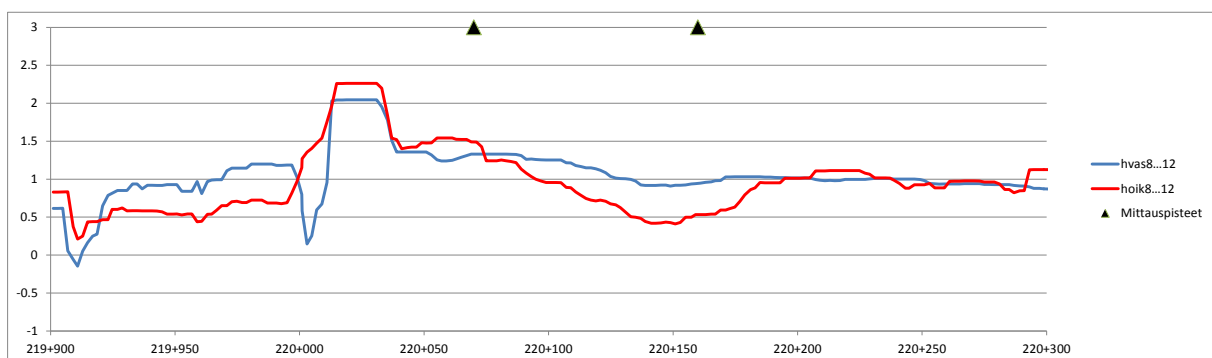
Kuva 2. Ponttiseinän (punainen yhtenäinen viiva) ja mittauspisteiden (keltaiset pisteet sekä mittalinja keltaisella katkoviivalla).

Ratarakenteen korkeusasema suhteessa ympäröivään maanpintaan on laserkeilattu Liikenneviraston ratojen stabiileetti tai routahaitta -hankkeessa (nk. Ratus ja ROPE -hankkeet). Mittaukset on tehnyt Roadscanners Oy. Kohteen mittaustulokset on koostettu ohaiseen kuvaan 3.



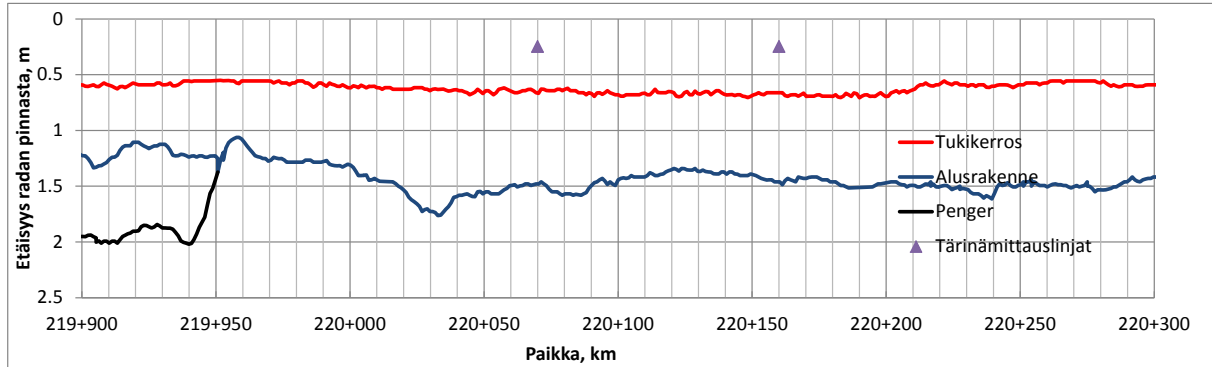
Kuva 3. Laserskannaus- ja maatulkatulokset sekä rakenteet (tasoristeykset ja rummut) osuudella km 219+780 – km 220+4800.

Ratapenkereen asema suhteessa ympäröivään maanpintaan on laskettu kuvaan 4. Laskenta on tehty vertailuna radan keskilinjan korkeusaseman ja radan oikealla tai vasemmalla puolella, 8–12 m päässä radan keskilinjasta olevan maanpinnan keskimääräisen korkeusaseman erotuksena. Kun penkereen korkeus on negatiivinen, rata on leikkauksessa. Laskentaa varten skannauksen pistepilvi on suodatettu. Mikäli suodatus mm. pensaiden tai skannausesteiden johdosta on ollut mahdotonta tehdä, tulokset on leikattu pois (oikea puoli yleisesti).



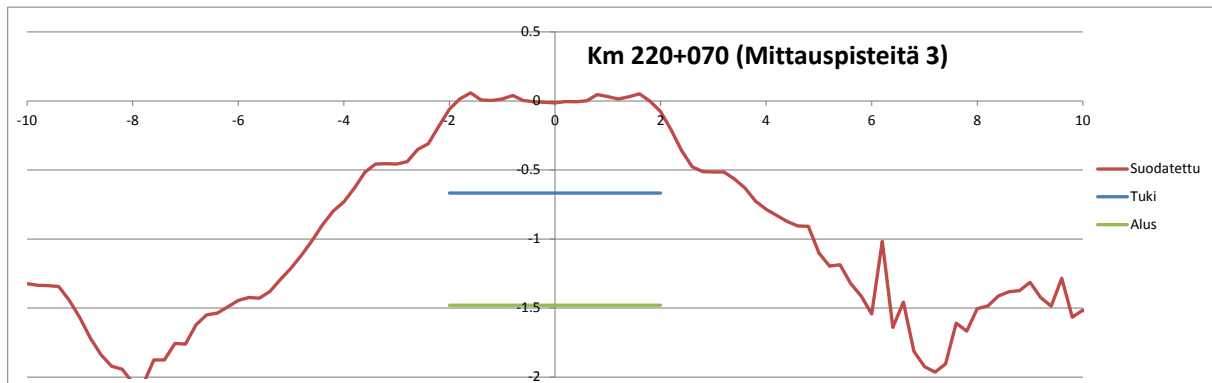
Kuva 4. Penkereen korkeusasema suhteessa ympäröivään maanpintaan. Kuvaan merkityt mittauspisteet ovat kohteen tärinämittauslinjojen sijainteja.

Kuvassa 5 on esitetty maatulokamittauksen perusteella tulkitut alusrakenteen (rakenteen) alapinnan ja pengerrakenteen alapinnan asema suhteessa radan pintaan. Pengermateriaalin sijaan penkereeksi tulee tulkituksi myös pohjavesipinnan yläpuolinen karkearakeinen luonnonmaakerros.

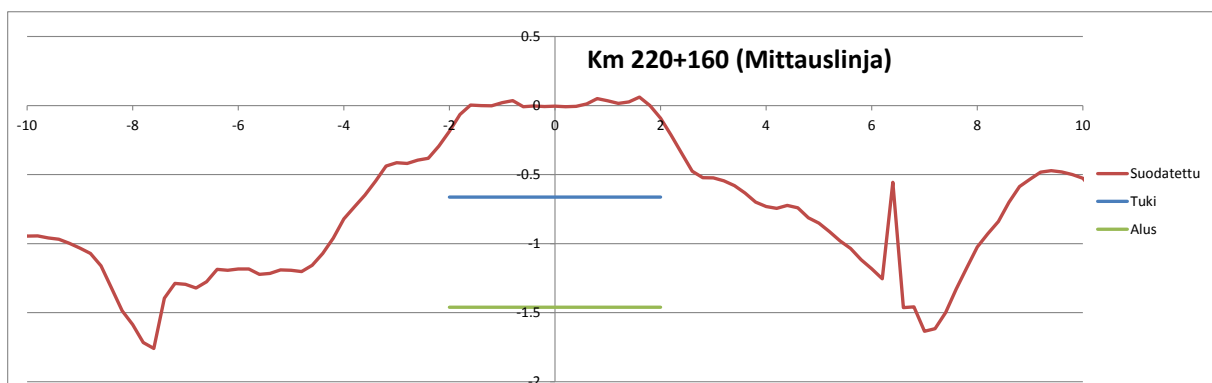


Kuva 5. Raiteen tukikerroksen, alusrakenteen ja pengerrakenteen alapinnan etäisyys radan yläpinnasta. Kohteessa on rumpu paikassa km 220+030.

Kuviin 6 ja 7 on esitetty laserkeilauksen mukaiset poikkileikkaukset ja maatulkasta tulkitut tukikerroksen ja alusrakenteen asemat suhteessa radan pintaan (korkeusasema 0) tärinämittauslinjojen/mittauskohtien kohdilla.



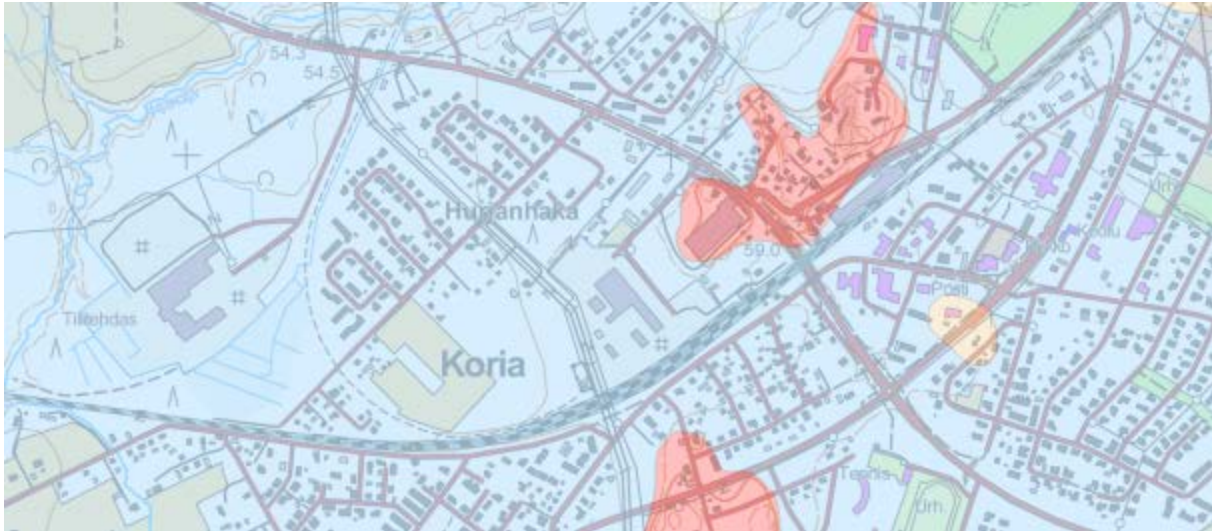
Kuva 6. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatulkamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 220+070.



Kuva 7. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatulkamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 220+160.

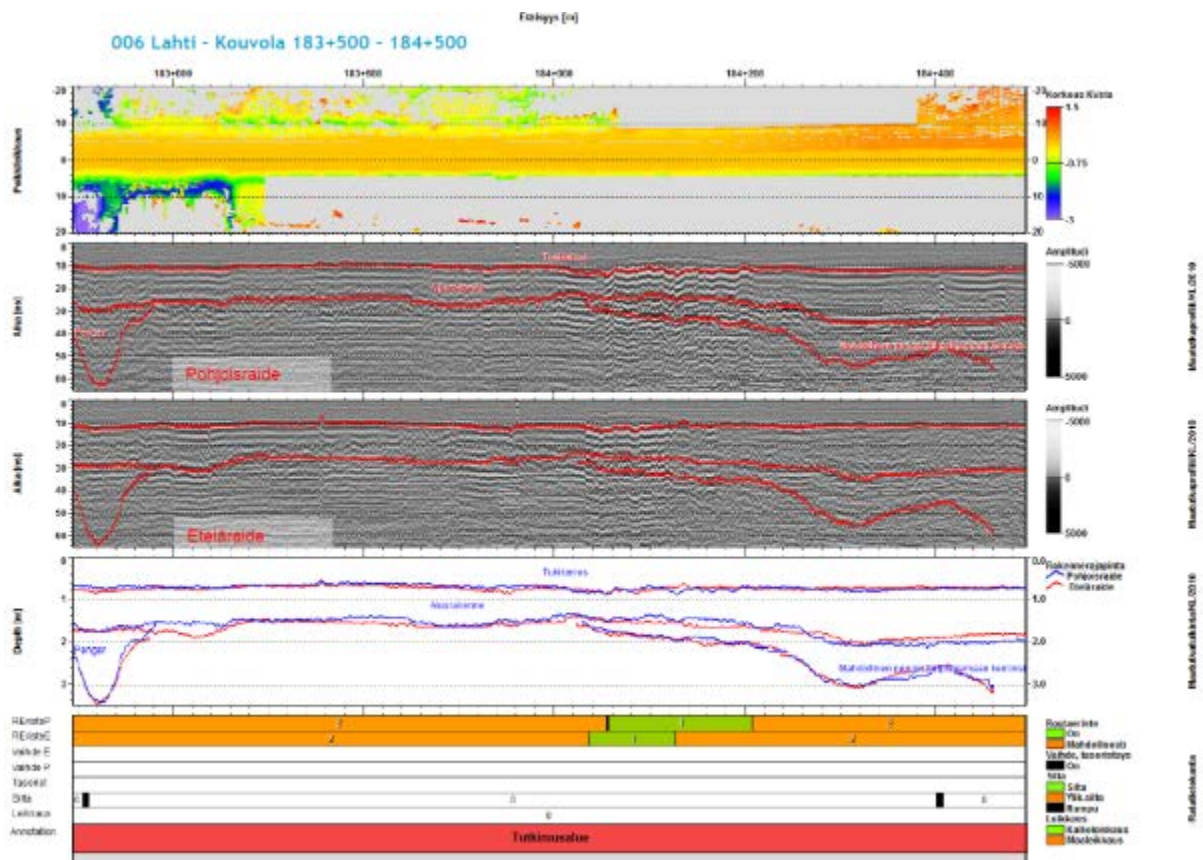
2 Korja

Yleinen maaperäkarttakuva on kuvassa 1.

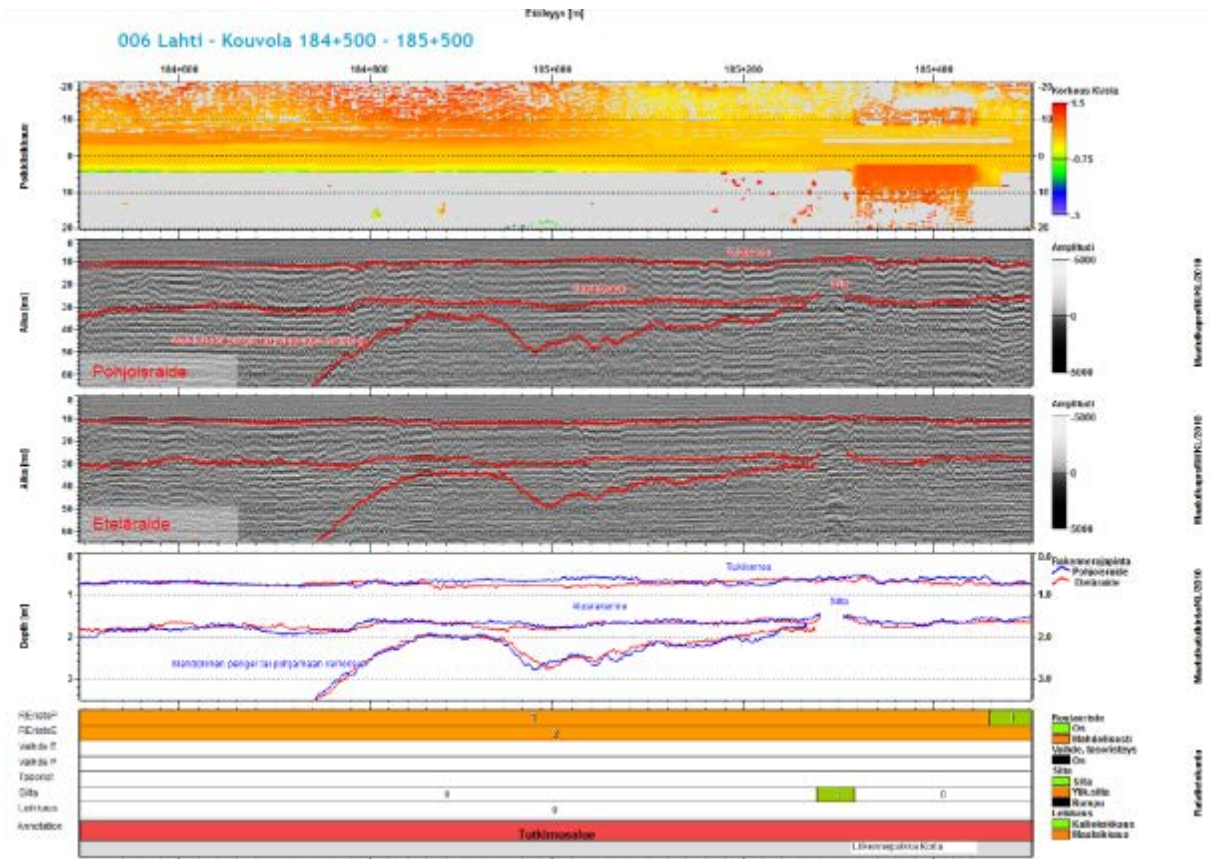


Kuva 1 Korian maaperäkartta (Lähde: GTK). Sininen = savi, punainen = kallioma, vihreä = hiekka, keltainen = hieta.

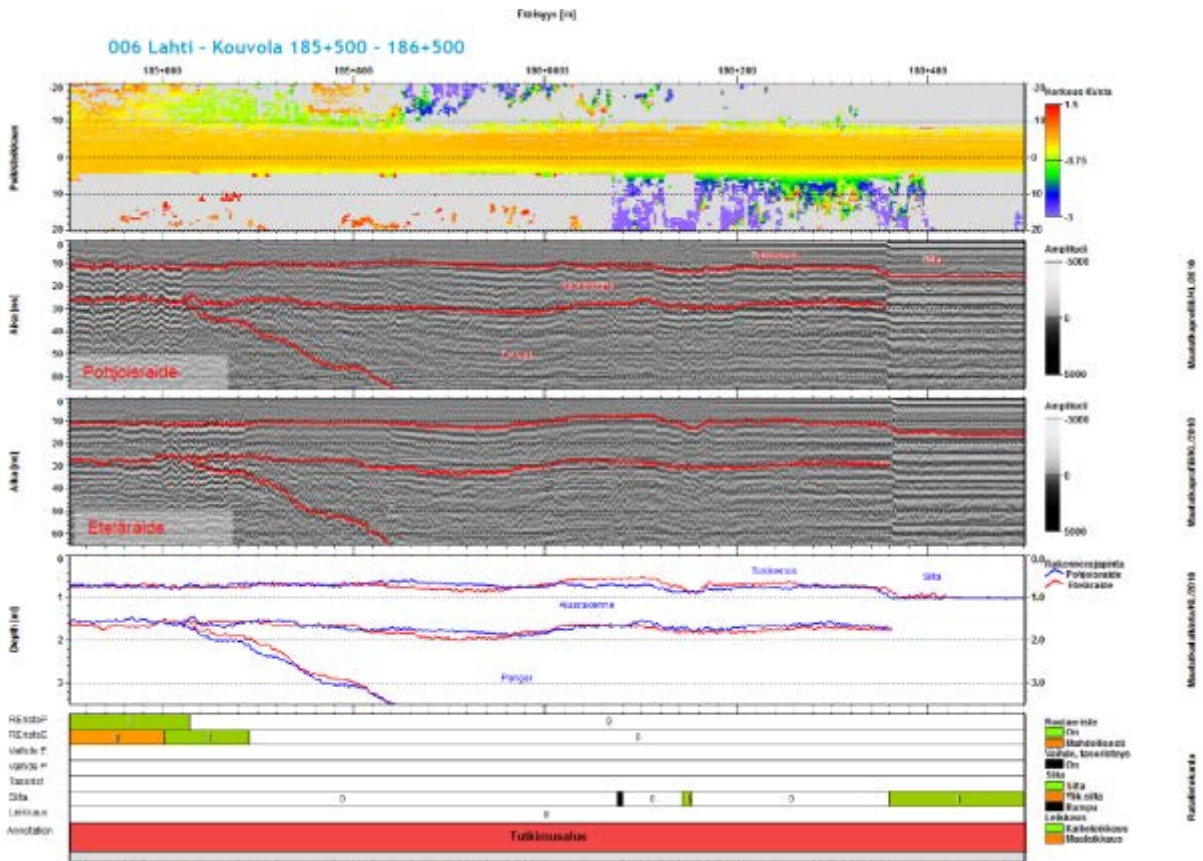
Kohteessa on kaksoisraide. Kuvissa 2, 3 ja 4 on esitetty Roadscannerin aineiston laserskannaus- ja maatulokset sekä rakenteet.



Kuva 2. Laserskannaus- ja maatulokset sekä rakenteet (routaeriste, vaihteet, tasoristeukset, sillat ja rummut) osuudella km 183+500 – km 184+500.

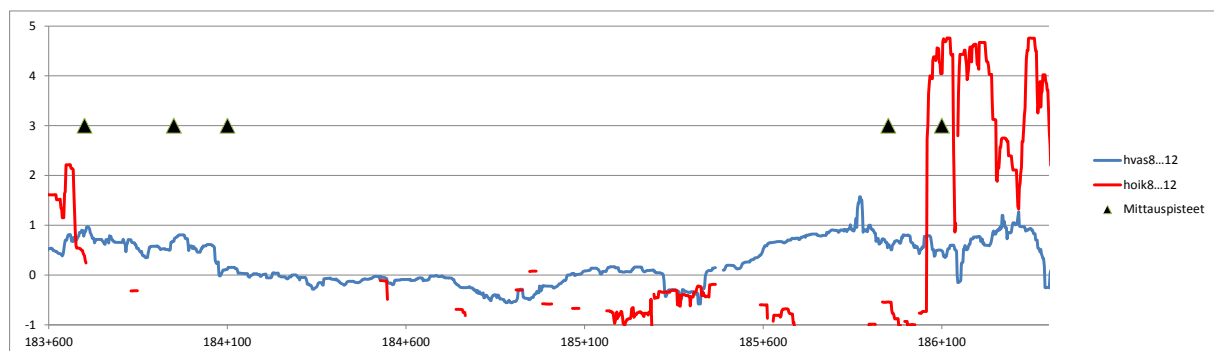


Kuva 3. Laserskannaus- ja maatutkatulokset sekä rakenteet (routaeriste, vaihteet, tasoristeukset, sillat ja rummut) osuudella km 184+500 – km 185+500.

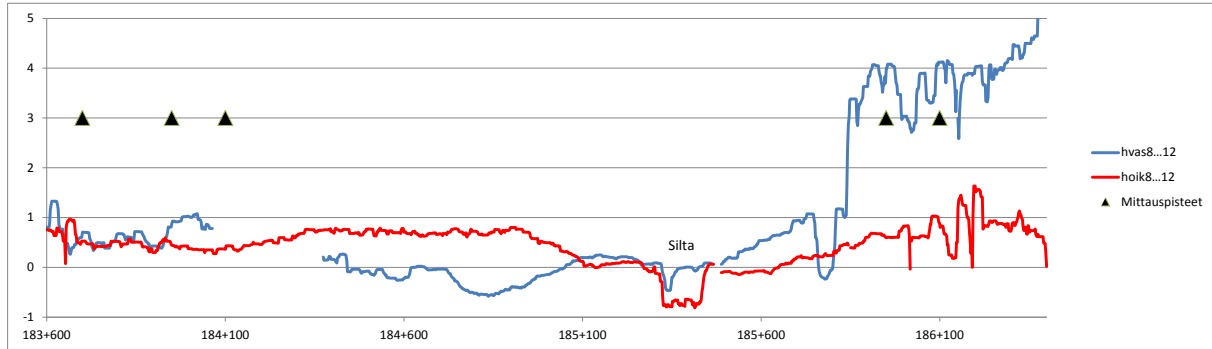


Kuva 4. Laserskannaus- ja maatumkatulokset sekä rakenteet (routaeriste, vaihteet, tasoristeukset, sillat ja rummut) osuudella km 185+500 – km 186+500.

Ratapenkereen asema suhteessa ympäröivään maanpintaan on laskettu eteläisen raiteen osalta kuvaan 5 ja pohjoisen kuvaan 6. Laskenta on tehty vertailuna radan keskiliinjan korkeusaseman ja radan oikealla tai vasemmalla puolella, 8–12 m päässä radan keskiliinjasta olevan maanpinnan keskimääräisen korkeusaseman erotuksena. Kun penkereen korkeus on negatiivinen, rata on leikkauksessa. Laskentaa varten skannauksen pistepilvi on suodatettu. Mikäli suodatusta mm. pensaiden tai skannausesteiden johdosta on ollut mahdotonta tehdä, tulokset on leikattu pois (oikea puoli yleisesti).

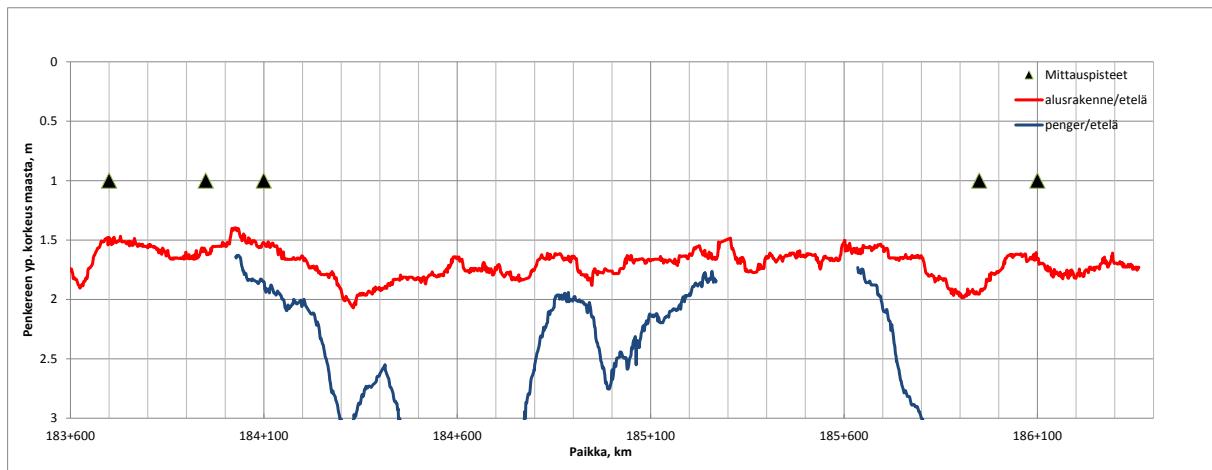


Kuva 5. Penkereen korkeusasema suhteessa ympäröivään maanpintaan – eteläinen raide. Kuvaan merkityt mittauspisteet ovat kohteen värinämittauslinjojen sijainneja.

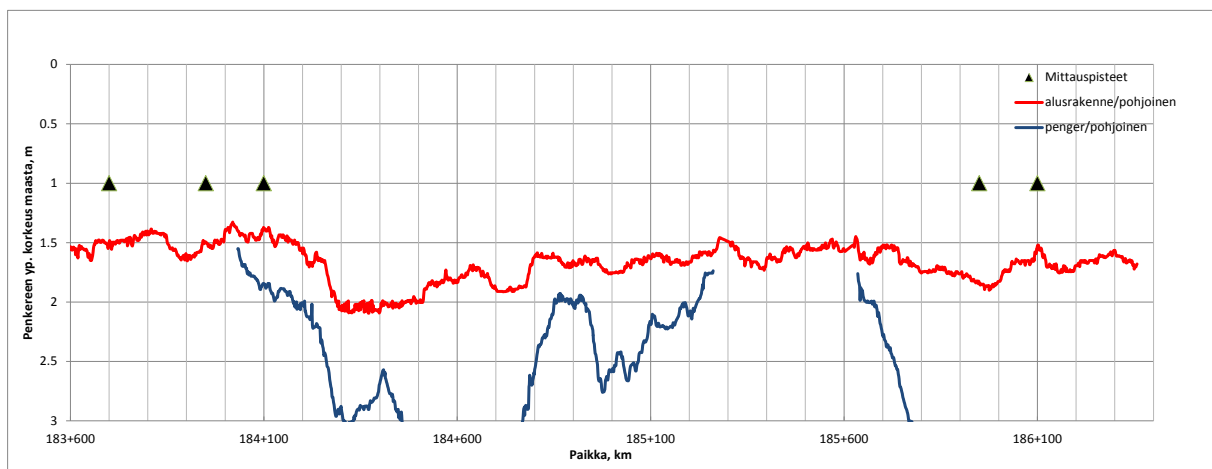


Kuva 6. Penkereen korkeusasema suhteessa ympäröivään maanpintaan – pohjoinen raide. Kuvaan merkityt mittauspisteet ovat kohteen tärinämittauslinjojen sijainteja.

Kuviin 7 ja 8 on esitetty maatutkamittauksen perusteella tulkitut alusrakenteen (rakenteen) alapinnan ja pengerrakenteen alapinnan asema suhteessa radan pintaan. Pengermateriaalin sijaan penkereeksi tulee tulkituksi myös pohjavesipinnan yläpuolinen karkearakeinen luonnonmaakerros.

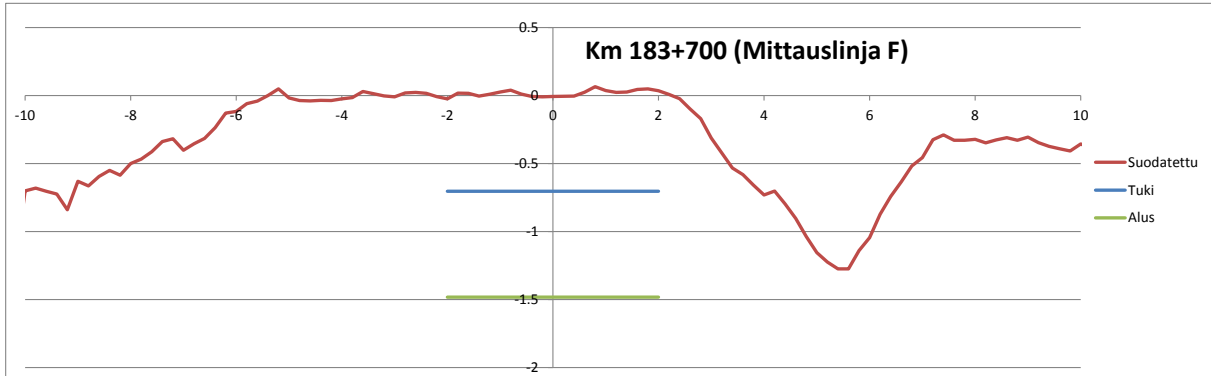


Kuva 7. Eteläisen raiteen alusrakenteen ja pengerrakenteen alapinnan etäisyys radan yläpinnasta.

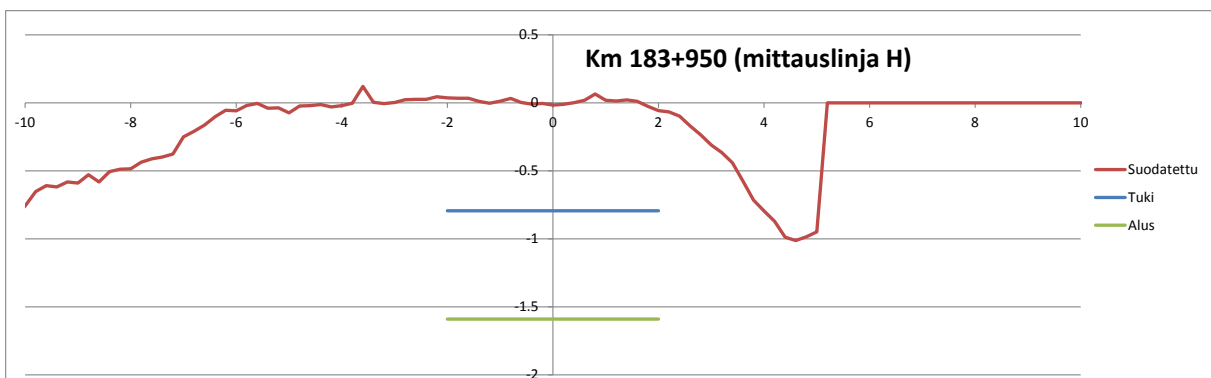


Kuva 8. Pohjoisen raiteen alusrakenteen ja pengerrakenteen alapinnan etäisyys radan yläpinnasta.

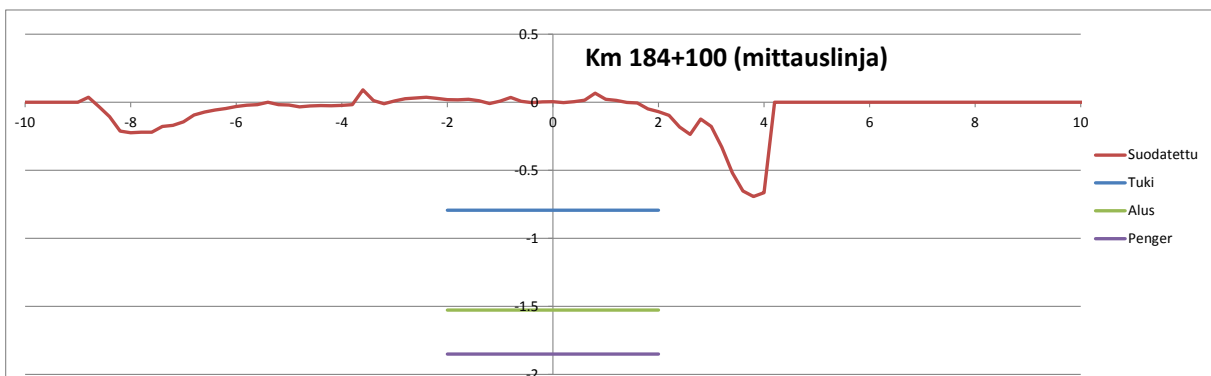
Kuviin 9–13 on esitetty eteläisen raiteen laserkeilauksen mukaiset poikkileikkaukset ja maatutkasta tulkitut tukikerroksen, alusrakenteen ja, mikäli kohteessa havaittu, penkereen alapinnan asemat suhteessa radan pintaan (korkeusasema 0) tärinämittauslinjojen kohdilla.



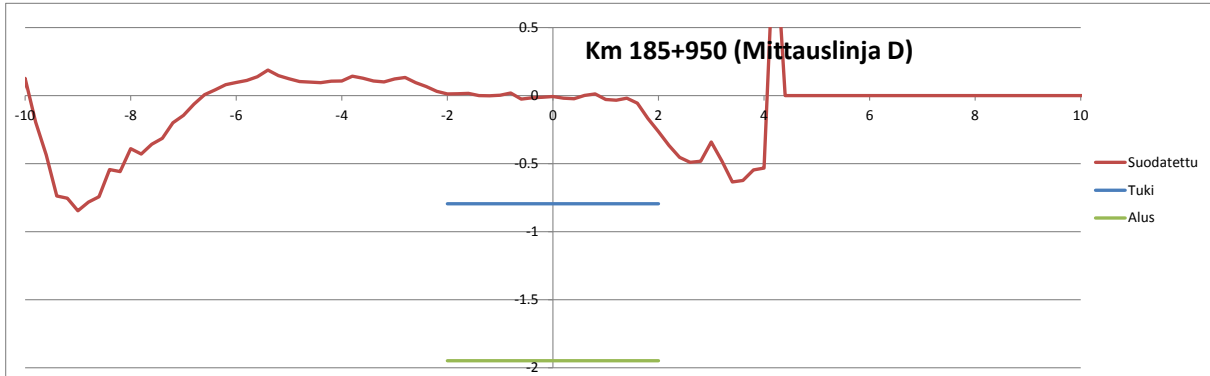
Kuva 9. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatukamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 183+700. Eteläinen raide.



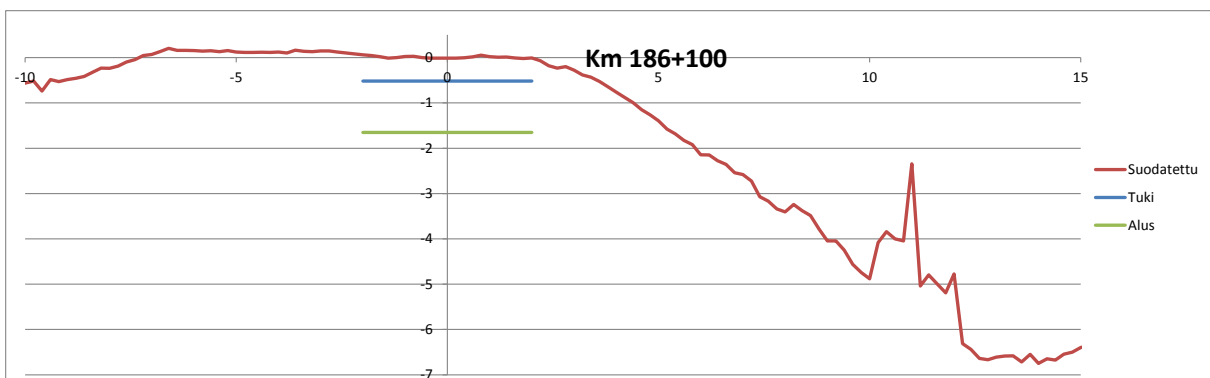
Kuva 10. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatukamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 183+950. Eteläinen raide.



Kuva 11. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen, alusrakenteen ja penkereen alapinnan maatukamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 184+100. Eteläinen raide.



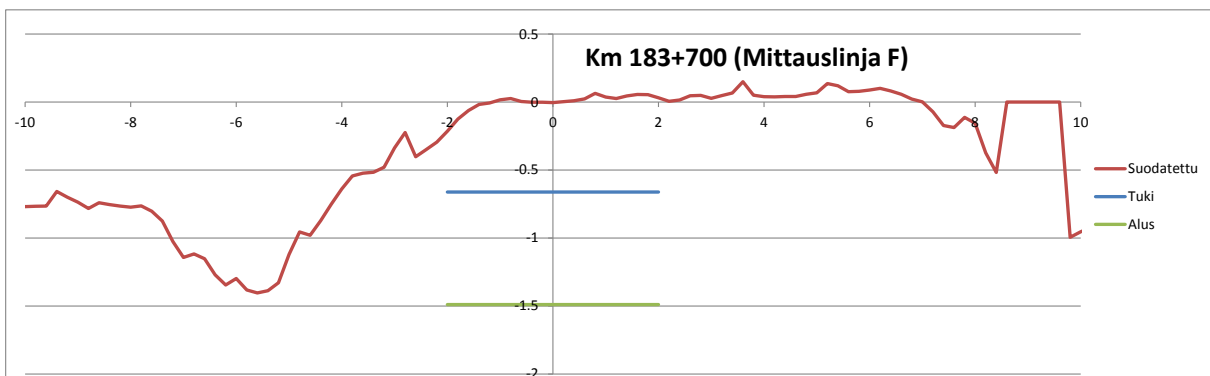
Kuva 12. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatukamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 185+950. Eteläinen raide.



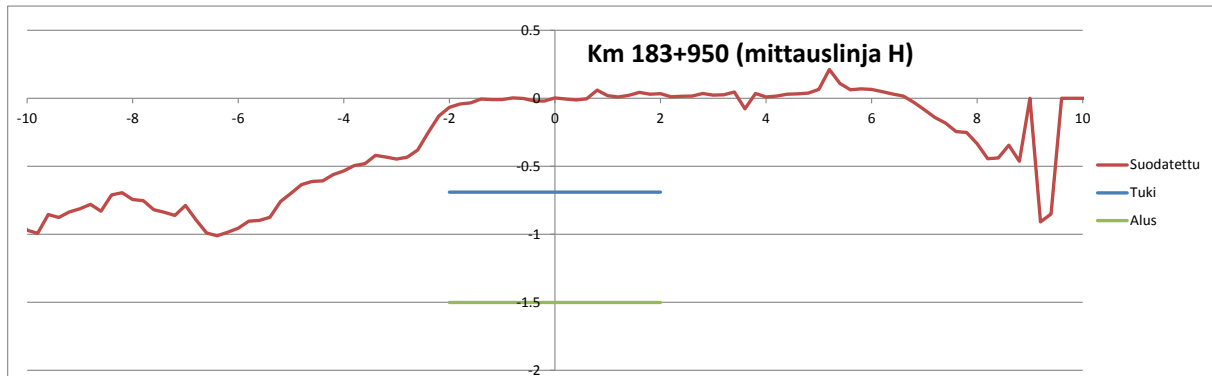
Kuva 13. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatukamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 186+100. Eteläinen raide.

Kuvan 13 oikeassa penkereessä lienee pensas, aita tai vaimennusseinän yläpää, jota ei ole onnistuttu suodattamaan pois mittausdatasta (esiintyy jatkuvana yli 2 m matkalla radan pituussuunnassa), Pengerrys on maanpintaan nähden likimain 7 m korkea toisin kuin kuvan 5 tulkinassa 8–12 metrin päässä raiteen keskilinjasta on tehty).

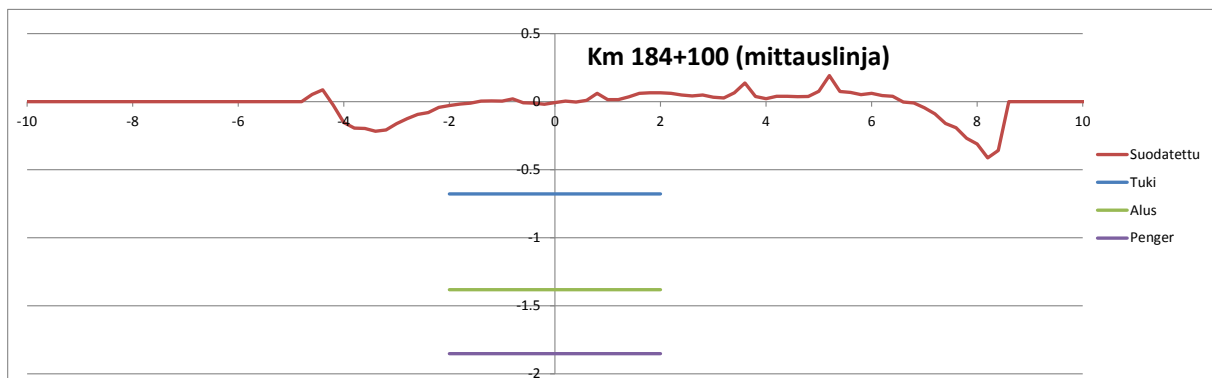
Kuviin 14–18 on esitetty pohjoisen raiteen laserkeilauksen mukaiset poikkileikkaukset ja maatukasta tulkitut tukikerroksen, alusrakenteen ja, mikäli kohteessa havaittu, penkereen alapinnan asemat suhteessa radan pintaan (korkeusasema 0) tärinämittauslinjojen kohdilla.



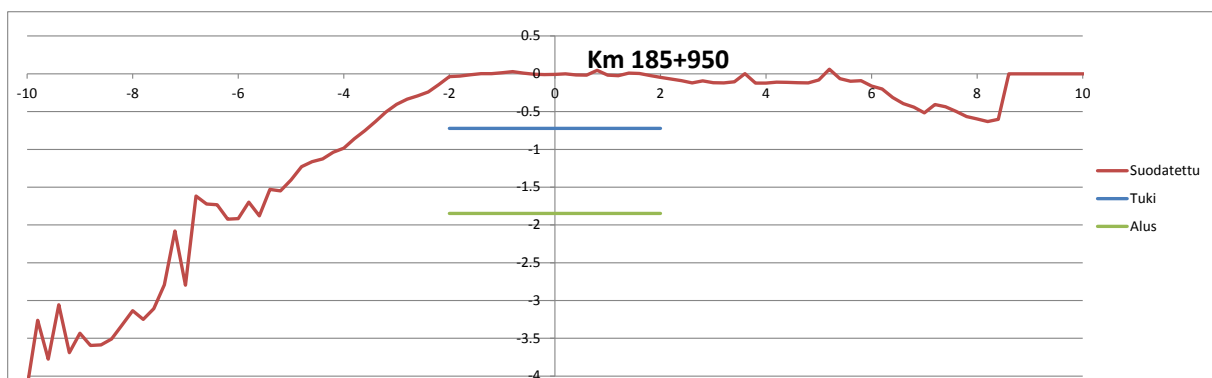
Kuva 14. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatukamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 183+700. Pohjoinen raide.



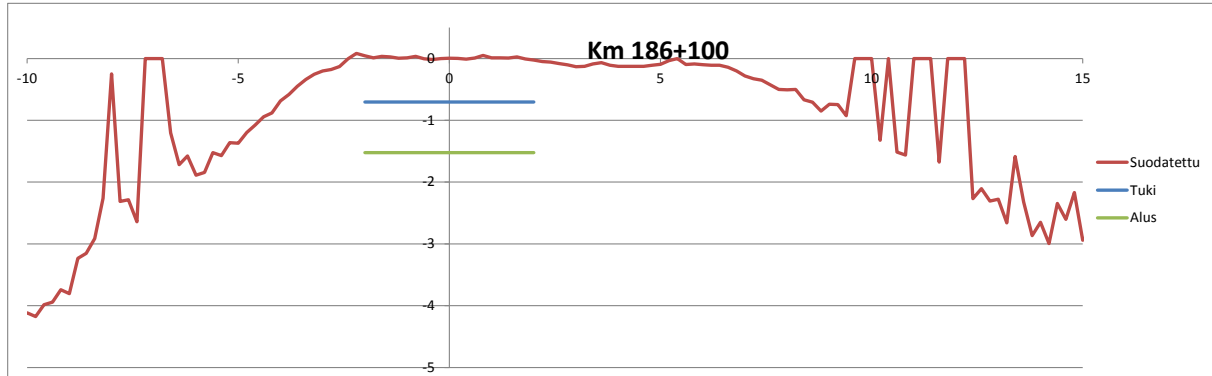
Kuva 15. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatutkamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 183+950. Pohjoinen raide.



Kuva 16. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatutkamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 184+100. Pohjoinen raide.



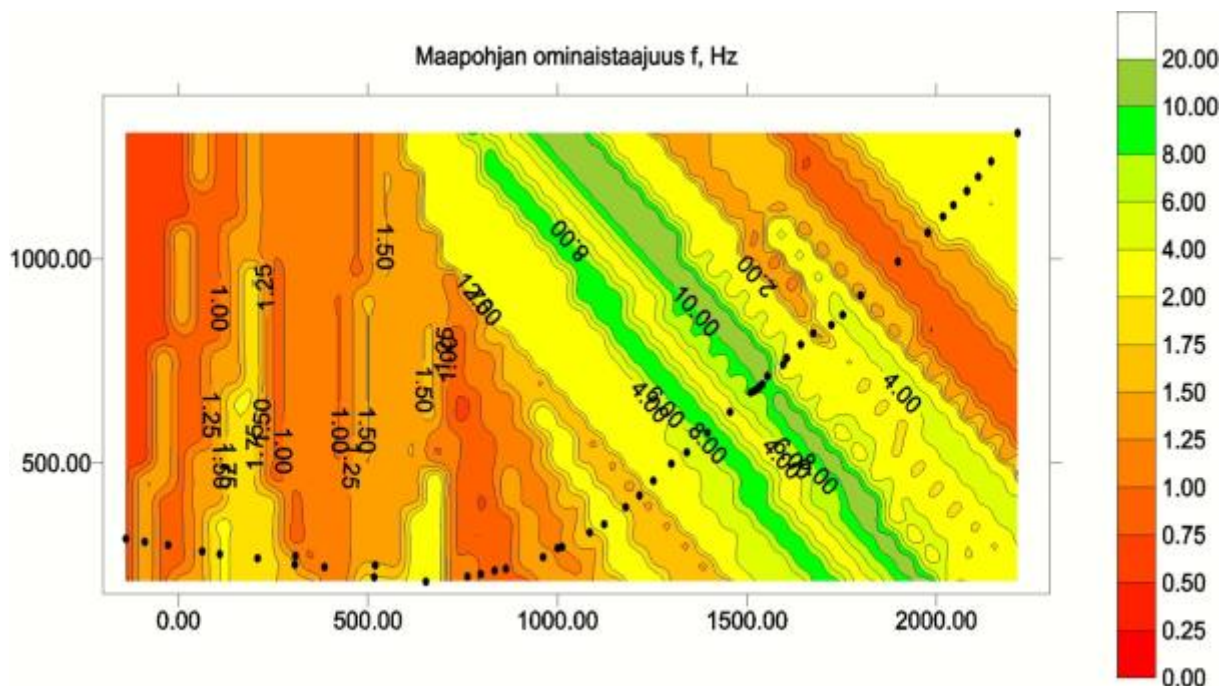
Kuva 17. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatutkamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 185+950. Pohjoinen raide.



Kuva 18. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatutkamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 186+100. Pohjoinen raide.

Radan ratapenkereen korkeus on tutkimuskohteen länsipuolella noin 1 metri. Tutkimuskohteen itäpuolella pengerkorkeus on noin 6–7 metriä.

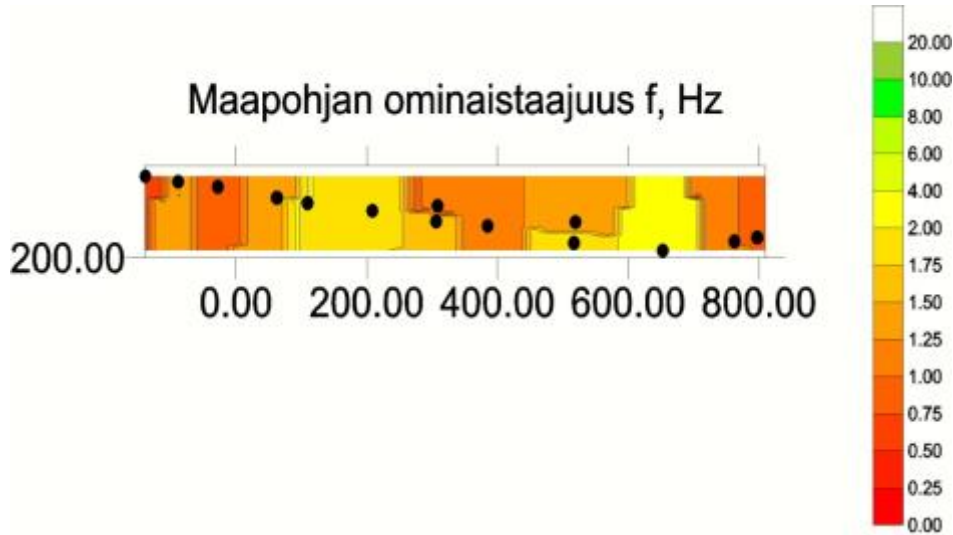
Kuvaan 19 on laskettu ratalinjan alapuolisen maapohjan pystysuuntainen ominaistajuus liitteessä F esitetyn tavan mukaisesti. Maapohjan dynaamiset ominaisuudet on tulkittu liitteessä F esitetyn taulukon parametrien perusteella. Tulkinta tehtiin pääasiassa savista, silteistä ja hiekoista kovaan pohjaan (moreeni, kallio) rajoittuen. Kairauspisteet on esitetty kuvassa mustilla pisteillä. Saatavilla olevat kairaukset rajoittuivat ratalinjaan ja sen välittömään läheisyyteen, joten kuvaa ei tule tulkita ko. linjan ulkopuolelta. Kuvissa 20, 21 ja 22 on esitetty sama ratalinja hieman tarkemmin osiin pilkottuna.



Kuva 19. Maapohjan ominaistajuus f (Hz) Korian ratalinjalla, km 183+600 – 186+400. Mustat pisteet ovat kairauspisteitä ratalinjalta.

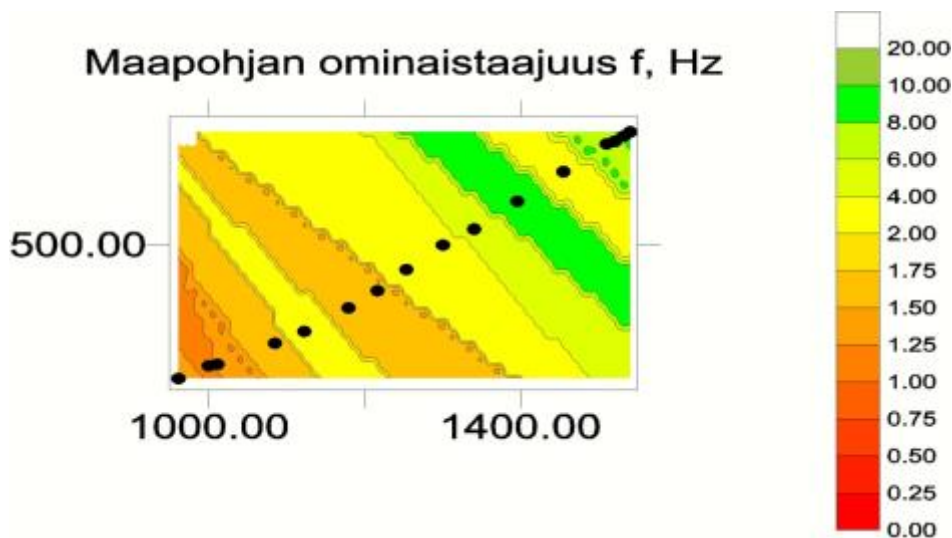
Yleisesti Korian ratalinjan alapuolisen maaperän ominaistajuudet vaihtelevat 0,6 ja 11,4 hertsin välillä ollen suurimmaksi osaksi alle 4 Hz. Suurimmillaan ominaistajuus on noin paaluvälillä km 185+240 – 185+540, jossa kova pohja on myös lähimpänä maanpintaa (< 5 m). Vaihteluväliin vaikuttavat tässä kohteessa pääasiassa maalajin leikkauslujuus ja maalajikerrosten paksuus niin, että paksut pehmeät savimaat vaikuttavat dominoivasti pohjan ominaistajuuteen heikentäen sitä.

Kuvassa 20 on esitetty ratalinjan lounaisosan km 183+600 – 184+540 ominaistajuuksien jakauma tarkemmin. Kyseisen välin ominaistajuudet vaihtelevat välillä 0,7–2,3 Hz maaperän ollessa paksua, pehmeää savikkoa; saven vesipitoisuus on myös lähes 100 %. Kova pohja saavutetaan keskimäärin 19,7 m syvyydessä maanpinnasta ja saven suljettu leikkauslujuus vaihtelee suurimmalta osin 15 ja 25 kPa välillä. Pinnalla on lujempi kuivakuori-/täytemaakerros ja yksittäisissä pisteissä syvimmissä savikerroksissa saven leikkauslujuus saavuttaa arvon 40 kPa.



Kuva 20. Maapohjan ominaistajuus f (Hz) Korian ratalinjalla, lounainen osa km 183+600 – 184+540. Mustat pisteet ovat kairauspisteitä ratalinjalta ja sen välittömästä läheisyydestä.

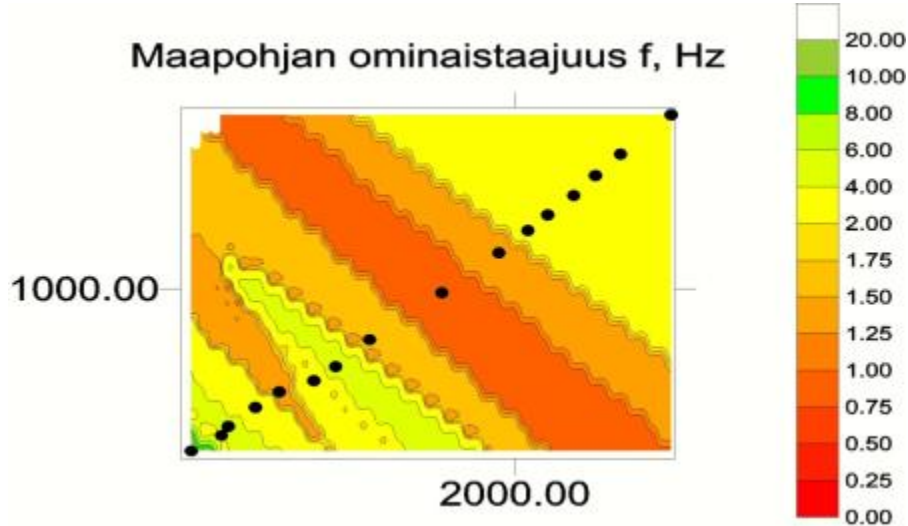
Kuvassa 21 on esitetty ratalinjan keskiosan km 184+560 – 185+440 ominaistajuuksien jakauma tarkemmin. Kyseisen välin ominaistajuudet vaihtelevat välillä 0,8–11,3 Hz maaperän vaihettuessa paksusta, pehmeästä savikosta koilliseen päin mentäessä selvästi matalampaan ja kiinteämpään pohjaan. Kova pohja saavutetaan keskimäärin noin 15 m syvyydessä maanpinnasta ja saven/siltin suljettu leikkauslujuus vaihtelee suurimmalta osin 30 ja 40 kPa välillä. Pinnalla on lujempi kuivakuori-/täytemaakerros ja koillisosassa maakerrokset ovat myös selvästi lujempia koostuen erilaisista täytemaista, siltistä, hiekasta ja moreenista.



Kuva 21. Maapohjan ominaistajuus f (Hz) Korian ratalinjalla, keskinen osa km 184+560 – 185+440. Mustat pisteet ovat kairauspisteitä ratalinjalta.

Kuvassa 22 on esitetty ratalinjan koillisosa km 185+450 – 186+400 ominaistajuuksien jakauma. Kyseisen välin ominaistajuudet vaihtelevat välillä 0,9–11,4 Hz maaperän vaihet-

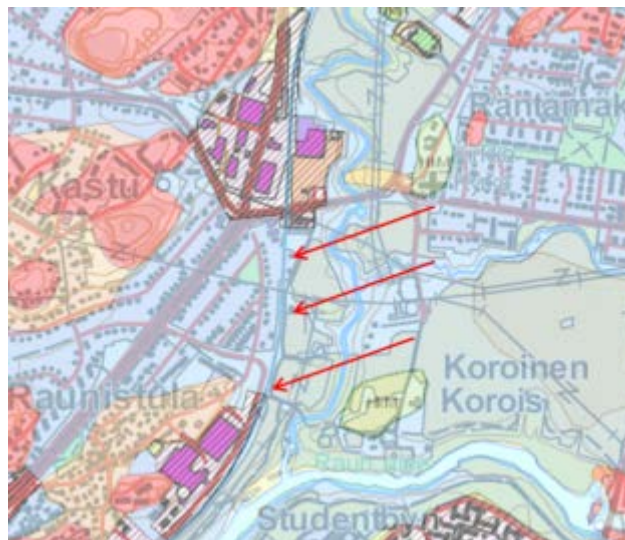
tuessa matalammasta ja kiinteämmästä pohjasta koilliseen päin mentäessä paksummiksi savi-silttikerroksiksi. Kova pohja saavutetaan keskimäärin noin 13 m syvyydessä maanpinnasta ja saven/siltin suljettu leikkauslujuus vaihtelee suurimmalta osin 25 ja 40 kPa välillä, ollen syvimmissä pisteissä 40 kPa tai enemmänkin. Pinnalla on lujempi kuivakuori/täytemaakerros.



Kuva 22 Maapohjan ominaistajuus f (Hz) Korian ratalinjalla, koillisosa km 185+450 – 186+400. Mustat pisteet ovat kairauspisteitä ratalinjalta.

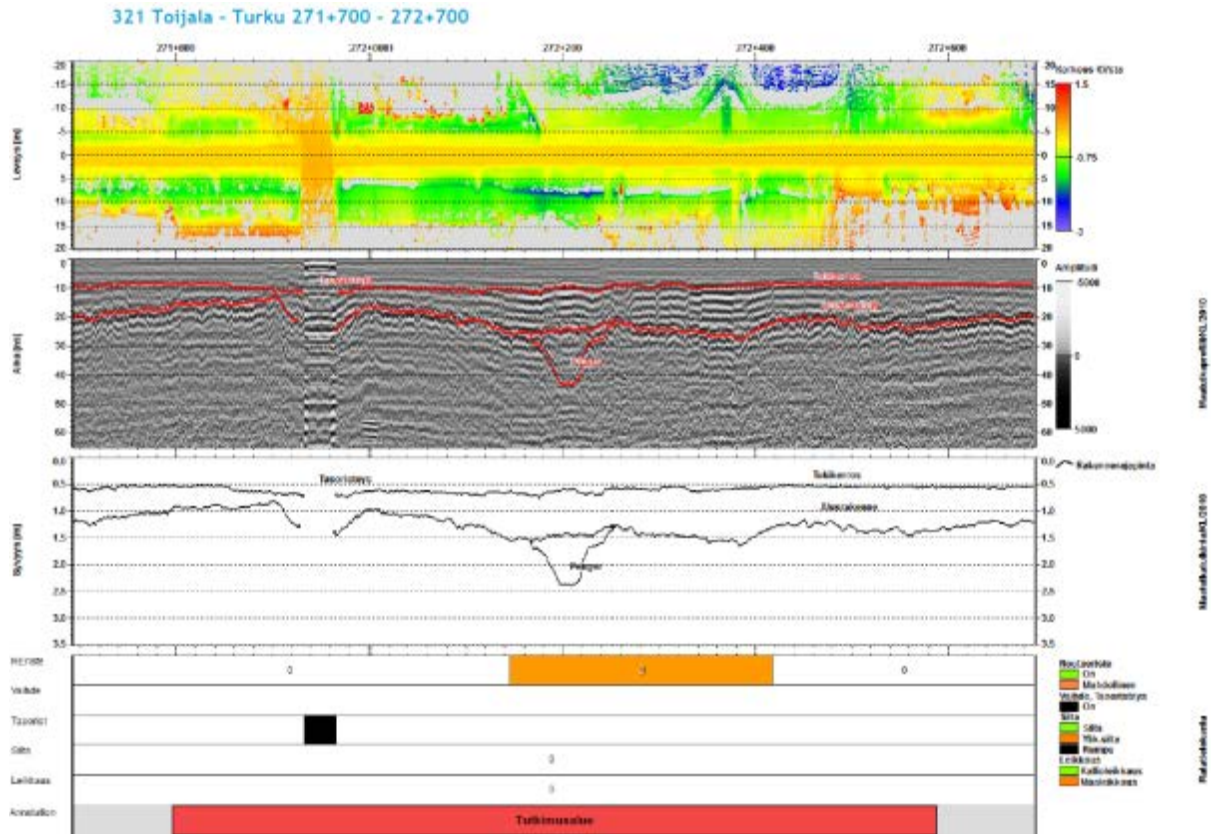
3 Raunistula

GTK:n maaperäkarta on esitetty kuvassa 1.



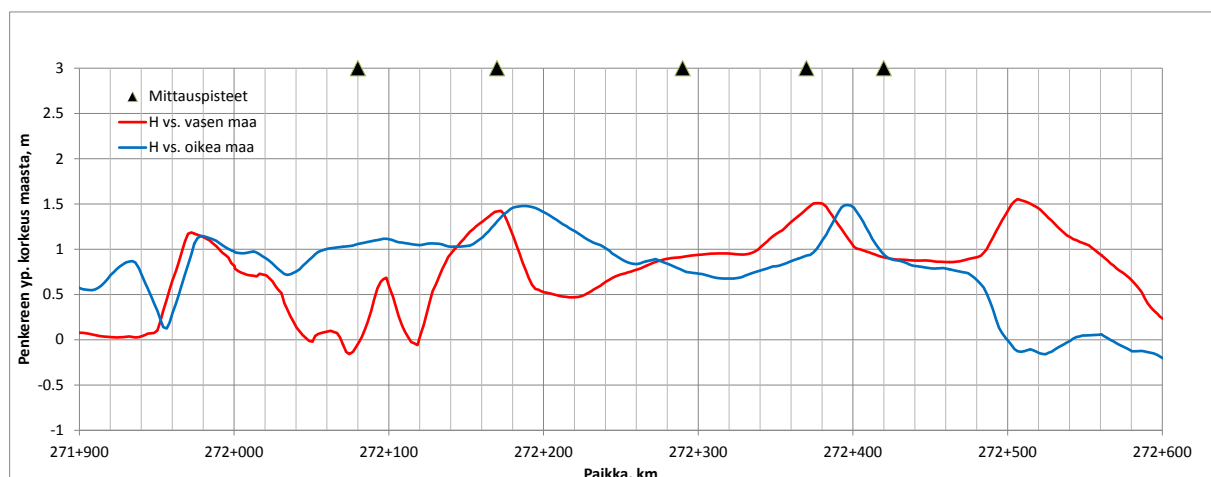
Kuva 1. Raunistulan junaradan alueen maaperäkarta, radan sijainti on merkitty nuolin. (Lähde: GTK). Sininen = savi, punainen = kallioma, vihreä = hiekka, vaaleanruskea = hiekkamareeni, keltainen = hieta.

Ratarakenteen korkeusasema suhteessa ympäröivään maanpintaan on laserkeilattu Liikenneviraston ratojen stabiliteetti tai routahaitta -hankkeessa (nk. Ratus ja ROPE -hankkeet). Mittaukset on tehnyt Roadscanners Oy. Kohteen mittaustulokset on koostettu oheiseen kuvaan 2.



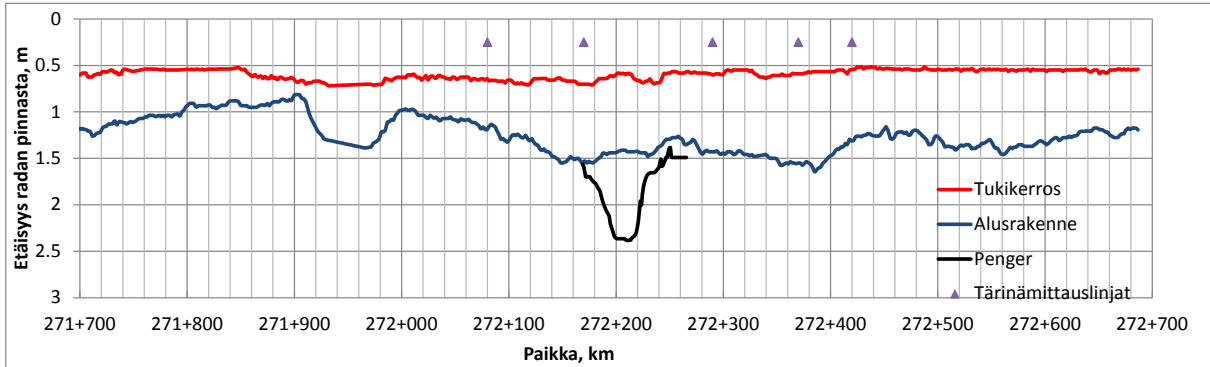
Kuva 2. Laserskannaus- ja maatulkatulokset sekä rakenteet (mahdolliset routaeristeet, vaihteet ja rummut) osuudella km 271+700 – km 272+700.

Ratapenkereen asema suhteessa ympäröivään maanpintaan on laskettu kuvaan 3. Laskenta on tehty vertailuna radan keskilinjan korkeusaseman ja radan oikealla tai vasemmalla puolella, 8–12 m päässä radan keskilinjasta olevan maanpinnan keskimääräisen korkeusaseman erotuksena. Kun penkereen korkeus on negatiivinen, rata on leikkauksessa. Laskentaa varten skannauksen pistepilvi on suodatettu.



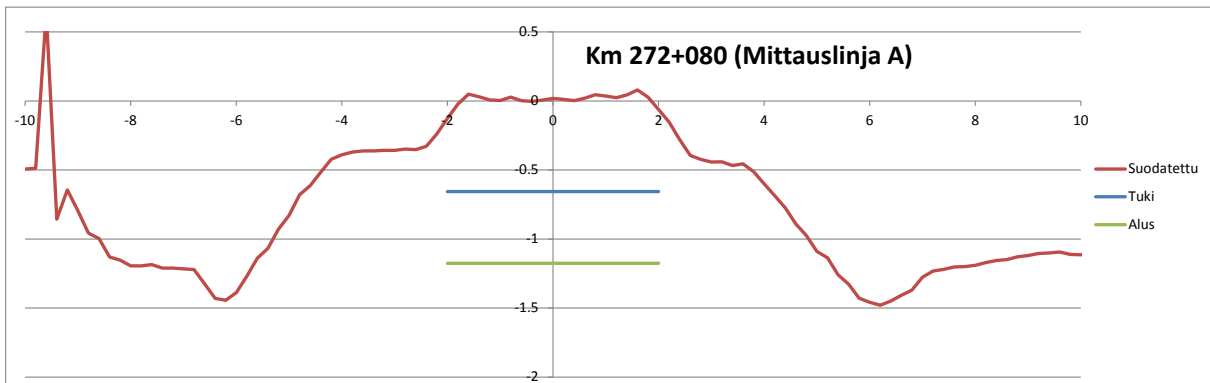
Kuva 3. Penkereen korkeusasema suhteessa ympäröivään maanpintaan. Kuvaan merkityt mittauspisteet ovat kohteen värinämittauslinjojen sijainteja.

Kuvaan 4 on esitetty maatulkatmittauksen perusteella tulkitut tukikerroksen, alusrakenteen (rakenteen) alapinnan ja pengerrakenteen alapinnan asema suhteessa radan pintaan. Pengermateriaalin sijaan penkereeksi tulee tulkituksi myös pohjavesipinnan yläpuolinen karkearakeinen luonnonmaakerros.

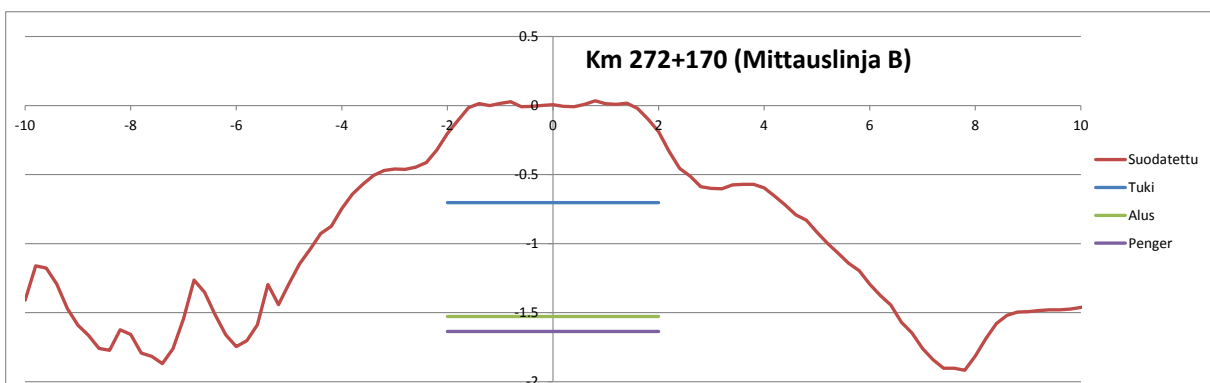


Kuva 4. Radan tukikerroksen, alusrakenteen ja pengerrakenteen alapinnan etäisyys radan yläpinnasta maastokalla mitattuina.

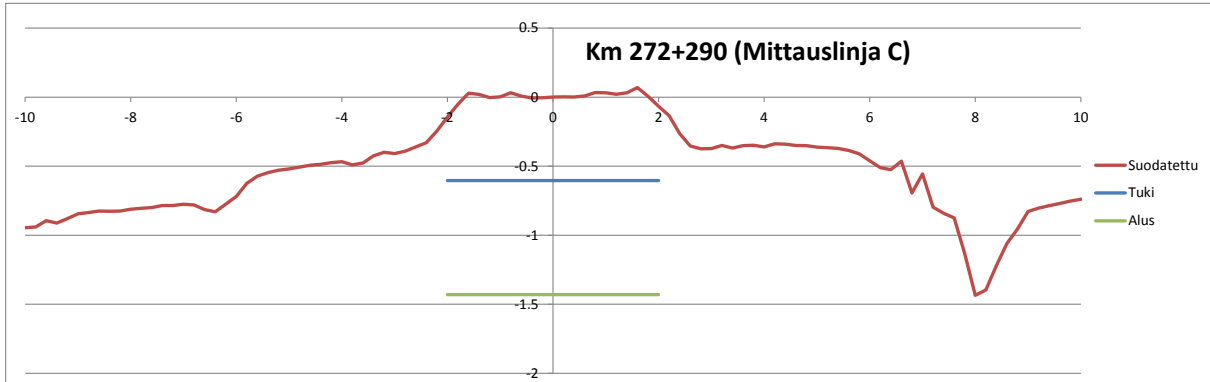
Kuviin 5–9 on esitetty laserkeilauksen mukaiset poikkileikkaukset ja maastokasta tulkitut tukikerroksen, alusrakenteen ja, mikäli kohteessa havaittu, penkereen alapinnan asemat suhteessa radan pintaan (korkeusasema 0) tärinämittauslinjojen kohdilla.



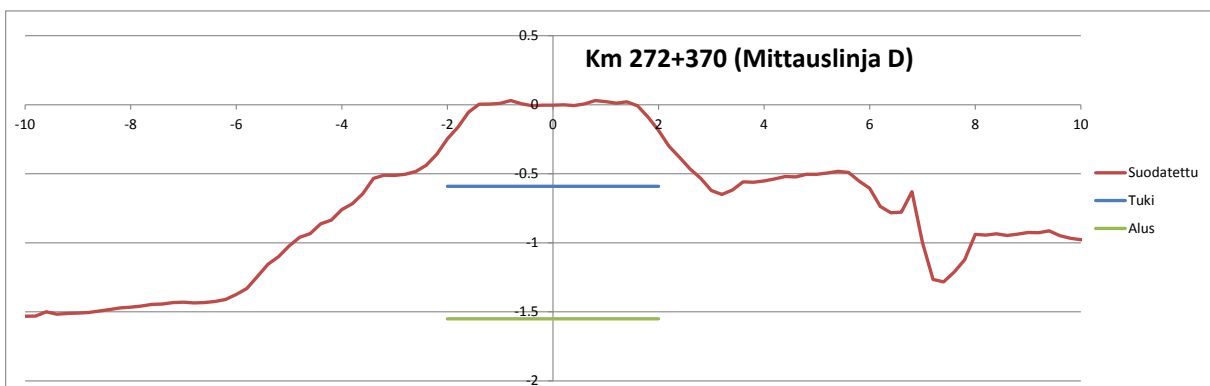
Kuva 5. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maastokamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 272+080.



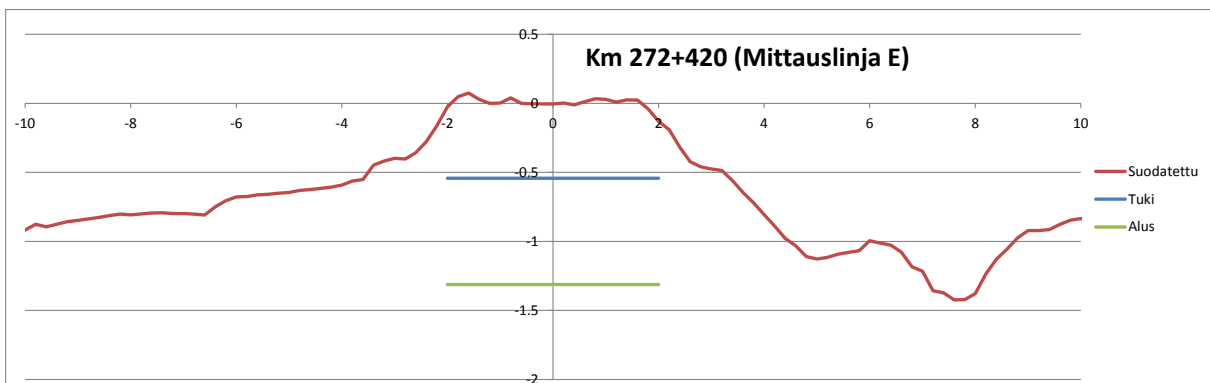
Kuva 6. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maastokamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 272+170.



Kuva 7. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatutkamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 272+290.

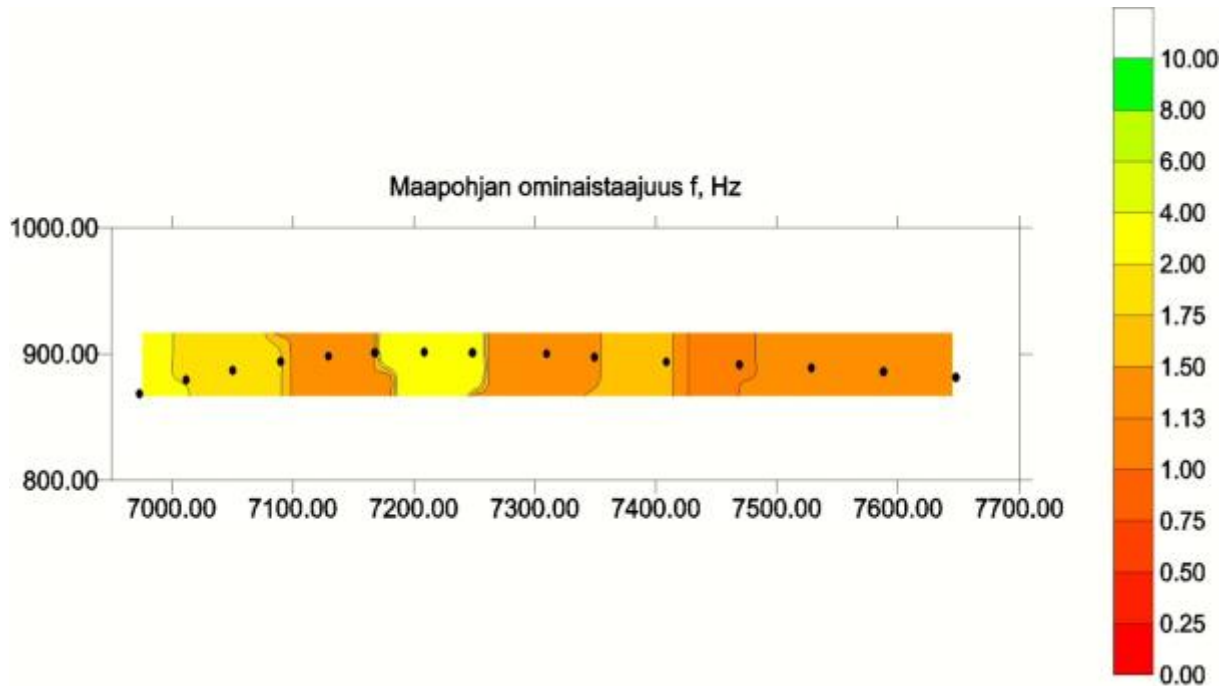


Kuva 8. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatutkamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 272+370.



Kuva 9. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen ja alusrakenteen alapinnan maatutkamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 272+420.

Kuvaan 10 on laskettu ratalinjan alapuolisen maapohjan pystysuuntainen ominaistajuus liitteessä F esitetyn tavan mukaisesti. Maapohjan dynaamiset ominaisuudet on tulkittu liitteessä F esitetyn taulukon parametrien perusteella. Tulkinta tehtiin pääasiassa savikerroksesta. Kairauspisteet on esitetty kuvassa mustilla pisteillä. Saatavilla olevat kairaukset rajoittuivat ratalinjaan ja sen välittömään läheisyyteen, joten kuvaa ei tule tulkita ko. linjan ulkopuolelta.

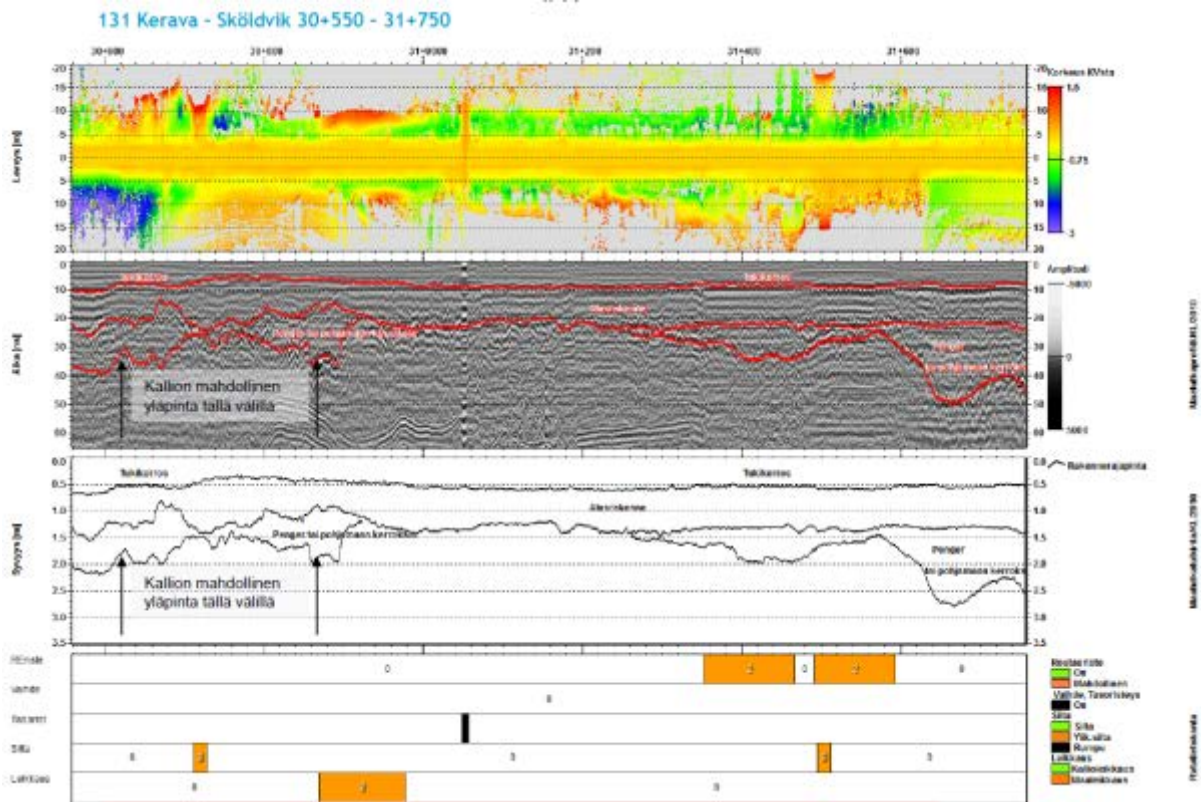


Kuva 10. Maapohjan pystysuuntaisen värähtelyn ominaistaajuuden jakautuminen Raunistulan ratalinjalla paaluvälillä km 271+700 – km 272+700.

Raunistulan ratalinjan alapuolisen maaperän ominaistaajuudet vaihtelevat 1,1 ja 3,2 hertsin välillä. Savikerros koostuu pääasiassa melko tasalaatuisesta savesta, jonka suljettu leikkauslujuus vaihtelee 12 ja 30 kPa:n välillä riippuen saven syvyydestä. Pinnalla on lujempi kuivakuori-/täytemaakerros. Alemmat maakerrokset (siltti, hiekka, kova maa) saavutetaan keskimäärin 14 metrin syvyydessä maan pinnasta.

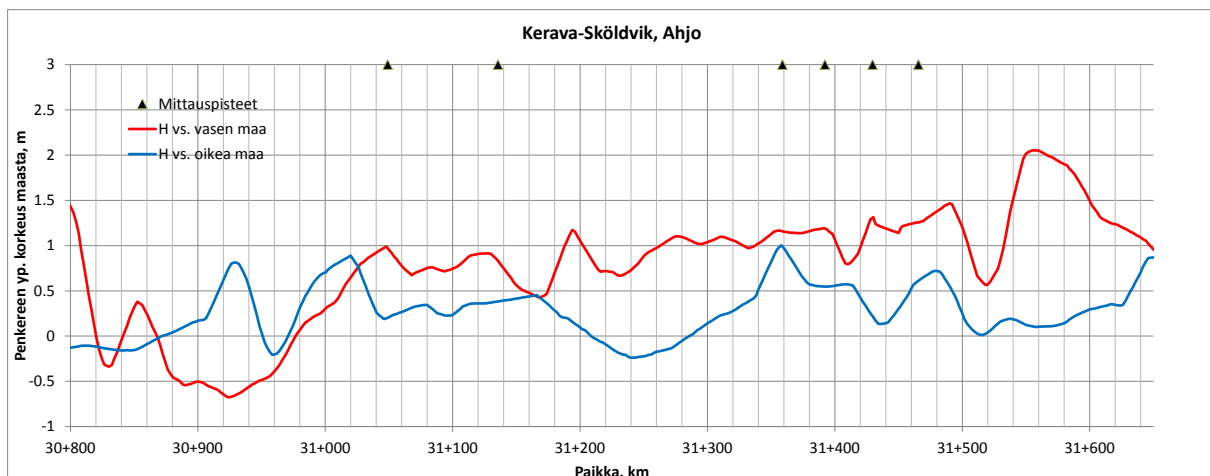
4 Ahjo

Ratarakenteen korkeusasema suhteessa ympäröivään maanpintaan on laserkeilattu Liikenneviraston ratojen stabiliteetti tai routahaitta -hankkeessa (nk. Ratus ja ROPE -hankkeet). Mittaukset on tehnyt Roadscanners Oy. Kohteen mittaustulokset on koostettu oheiseen kuvaan 2.



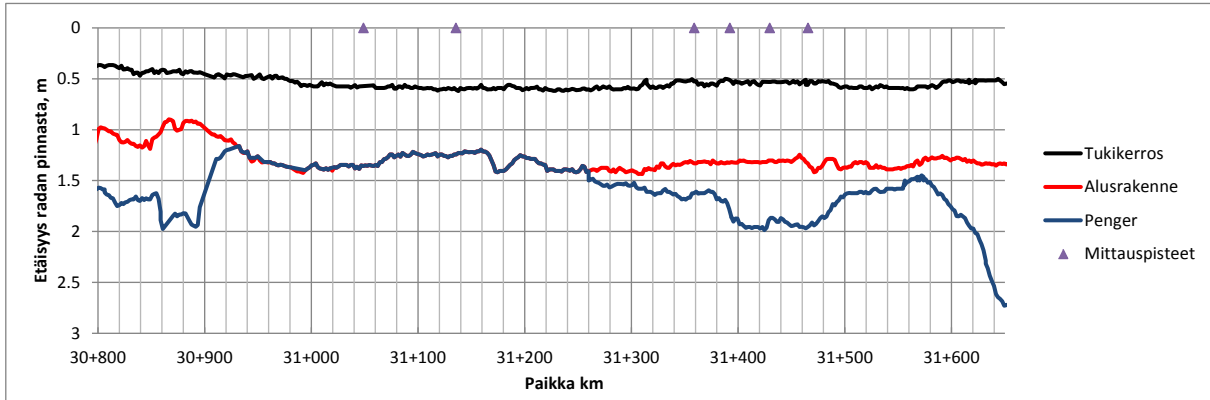
Kuva 2. Laserskannaus- ja maatulokset sekä rakenteet (mahdolliset routaeristeet, sillat ja rummut) osuudella km 30+550 – km 31+750.

Ratapenkereen asema suhteessa ympäröivään maanpintaan on laskettu kuvaan 3. Laskenta on tehty vertailuna radan keskilinjan korkeusaseman ja radan oikealla tai vasemmalla puolella, 8–12 m päässä radan keskilinjasta olevan maanpinnan keskimääräisen korkeusaseman erotuksena. Kun penkereen korkeus on negatiivinen, rata on leikkauksessa. Laskentaa varten skannauksen pistepilvi on suodatettu.



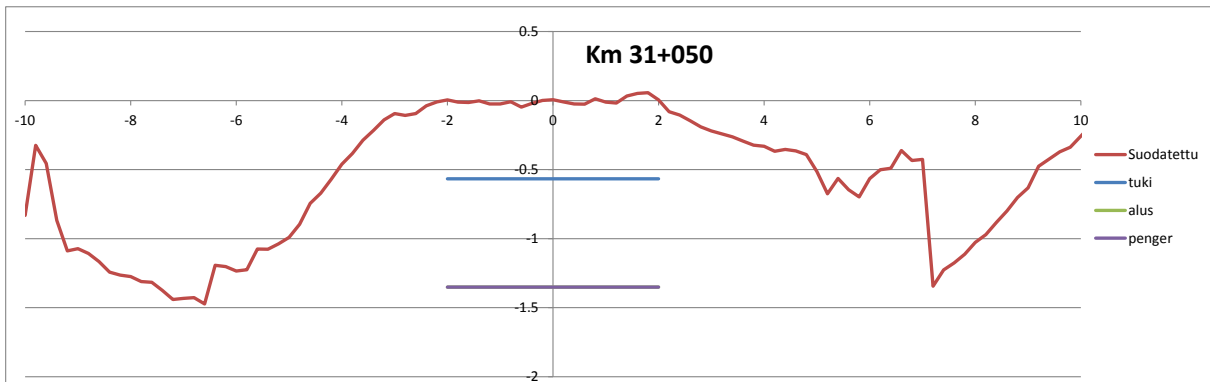
Kuva 3. Penkereen korkeusasema suhteessa ympäröivään maanpintaan. Kuvaan merkityt mittauspisteet ovat kohteen tärinämittausten sijainneja.

Kuvaan 4 on esitetty maatulokemittauksen perusteella tulkitut tukikerroksen, alusrakenteen (rakenteen) alapinnan ja pengerrakenteen alapinnan asema suhteessa radan pintaan. Pengermateriaalin sijaan penkereeksi tulee tulkituksi myös pohjavesipinnan yläpuolinen karkearakeinen luonnonmaakerros.

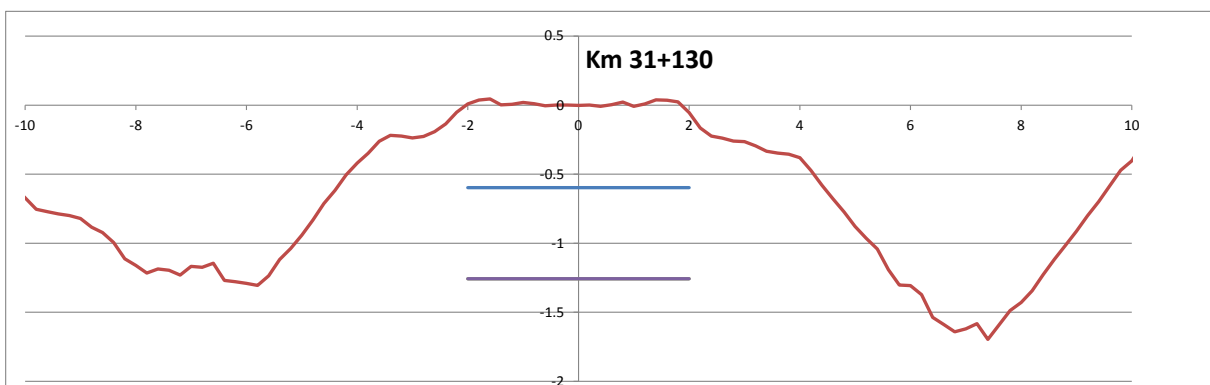


Kuva 4. Radan tukikerroksen, alusrakenteen ja pengerrakenteen alapinnan etäisyys radan yläpinnasta maastokalla mitattuina.

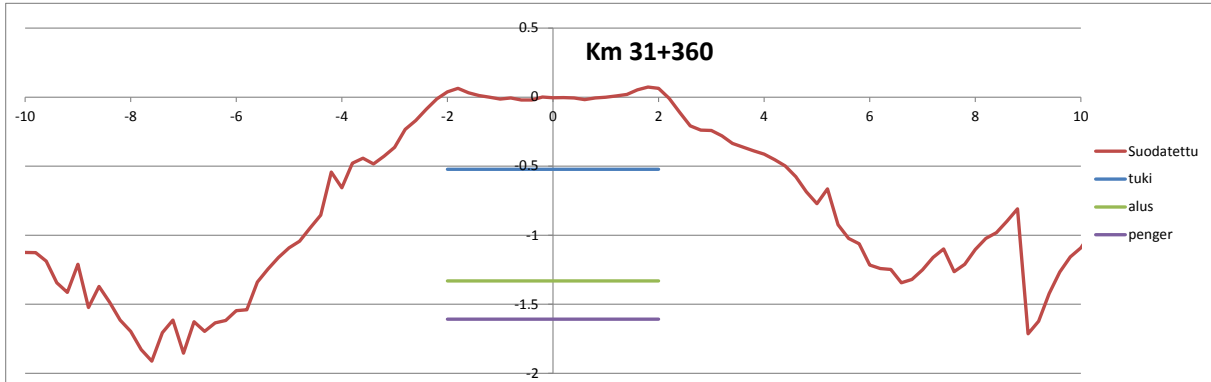
Kuviin 5–10 on esitetty laserkeilauksen mukaiset poikkileikkaukset ja maastokasta tulkitut tukikerroksen, alusrakenteen ja, mikäli kohteessa havaittu, penkereen alapinnan asemat suhteessa radan pintaan (korkeusasema 0) tärinänmittauslinjojen kohdilla.



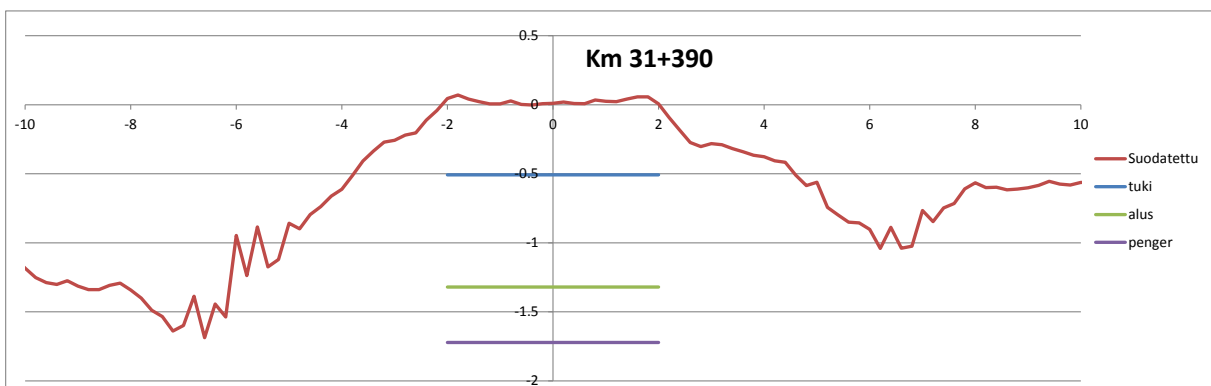
Kuva 5. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen, alusrakenteen ja pengerrakenteen alapinnan maastokamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 31+050.



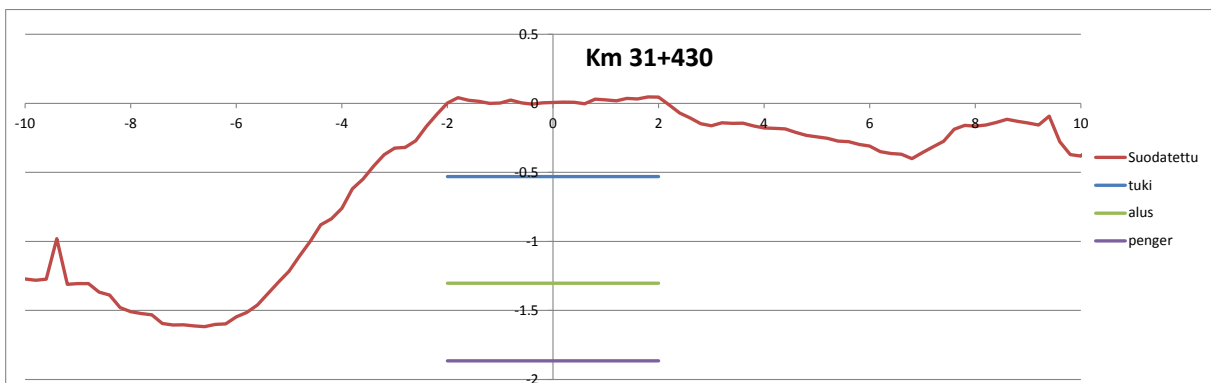
Kuva 6. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen, alusrakenteen ja pengerrakenteen alapinnan maastokamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 31+130.



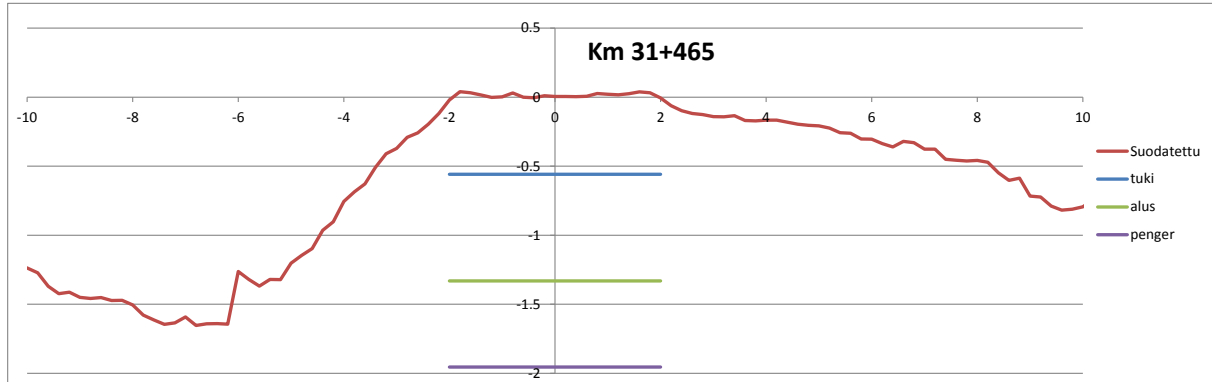
Kuva 7. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tuki-kerroksen, alusrakenteen ja pengerrakenteen alapinnan maatukamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 31+360.



Kuva 8. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tuki-kerroksen, alusrakenteen ja pengerrakenteen alapinnan maatukamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 31+050.

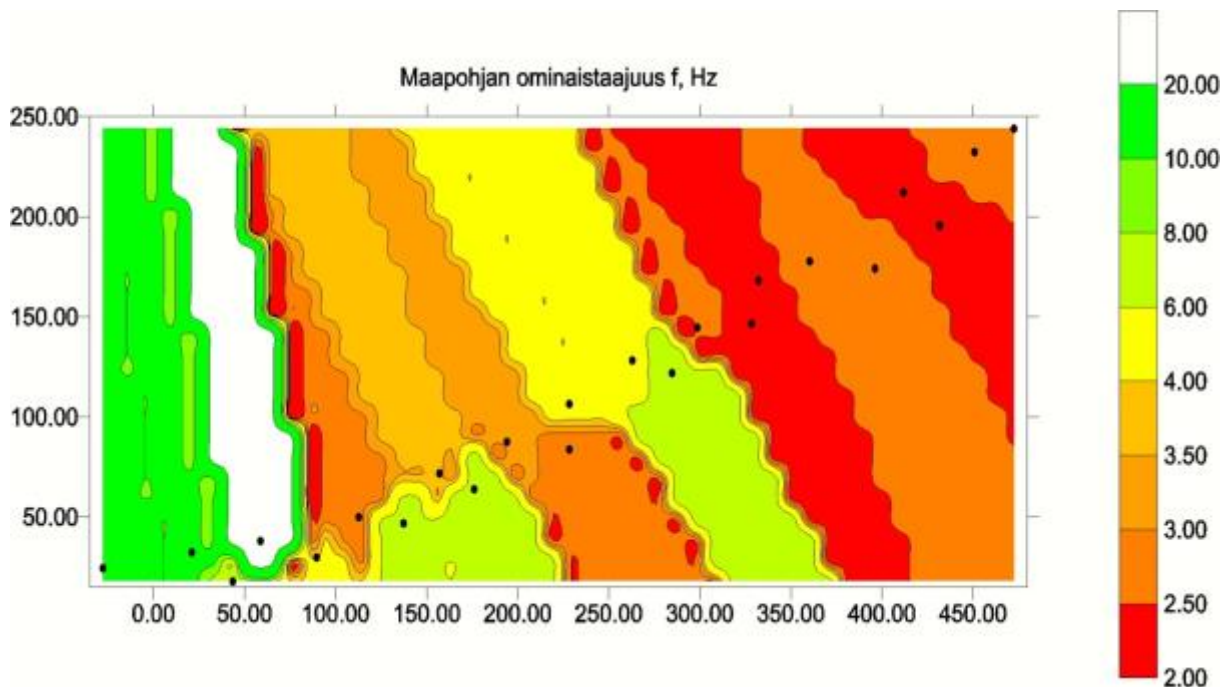


Kuva 9. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tuki-kerroksen, alusrakenteen ja pengerrakenteen alapinnan maatukamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 31+430.



Kuva 10. Radan ja lähialueen maanpinnan suhteellinen korkeusasema (radan pinta = 0), tukikerroksen, alusrakenteen ja pengerrakenteen alapinnan maatutkamittauksella tulkittu asema suhteessa radan pintaan km 31+050.

Kuvaan 11 on laskettu ratalinjojen alapuolisen maapohjan pystysuuntainen ominaistajuus liitteessä F esitetyn tavan mukaisesti. Maapohjan dynaamiset ominaisuudet on tulkittu liitteessä F esitetyn taulukon parametrien perusteella. Tulkinta tehtiin pääasiassa savista, silteistä ja hiekoista kovaan pohjaan (moreeni, kallio) rajoittuen. Kairauspisteet on esitetty kuvassa mustilla pisteillä. Saatavilla olevat kairaukset rajoittuivat ratalinjaan ja sen välittömään läheisyyteen, joten kuvaa ei tule tulkita ko. linjan ulkopuolelta.



Kuva 11. Maapohjan pystysuuntaisen värähtelyn ominaistajuuden jakautuminen Ahjon rata-
linjoilla (kaksi vierekkäistä linjaa) paaluvälillä km 30+550 – 31+750.

Ahjon ratalinjojen alapuolisen maaperän ominaistajuudet vaihtelevat 2,3 ja 22,7 hertsin välillä. Ratalinjojen koillisosassa ominaistajuudet jäävät alle 3 Hz:iin ja lukema kasvaa lounaista kohden. Suurimmat arvot 22,7 ja 15,1 Hz esiintyvät hyvin matalissa pisteissä (kova pohja < 2 m). Kaikkiaan Ahjon kohdetta leimaa suuri ominaistajuuksien vaihtelu lyhyillä välimatkoilla. Laskennassa käytetty savien suljettu leikkauslujuus vaihtelee noin 12 ja 30 kPa:n välillä painottuen pieniin arvoihin. Savien vesipitoisuus on myös joissain pisteissä jopa 95 %. Savien lisäksi kerrostumissa on paljon siltisiä savia, silttiä, hiekkaa ja täytemaata. Kovan pohjan eli moreenin tai kallion etäisyys maanpinnasta on vaihteleva, noin 1–11 m keskiarvon ollessa noin 5,6 m. Useissa kairauspisteissä kuivakuori puuttuu tai se on hyvin ohut.

LIITE F Teoreettisia tarkasteluja tärinän suuruuden arviointiin

Maapohjan ominaisuudet – kokemusperäisiä vuorosuhteita

Kairausten perusteella tehdyssä maapohjan ominaistajuuksien arvioinnissa on käytetty VTT:n koostamaa, pääosin empiiristä vuorosuhdetaulukkoa (Taulukko 1).

Taulukko 1. Maan ominaisuuksien vuorosuhdetaulukko.

Maalaji	Puristin- kairaus q, (MN/m ²)	Paino- kairaus Pk/0,2 m	Heijari- kairaus L/0,2 m	Moduulii uku m	Jännitys- eksponen- tti β	Kitkakul- ma	Emodu- uli	Leikk. aallon nopeus, m/s	Tiheys, kg/m ³	Poisson luku	
											w<150
Turve	w<150	Hyvin tiivistynyt turve, runsaskuituinen raakaturve					45	125	>1100		
	w=150...300	Tiivistynyt turve, raaka- tai keskinkertaisesti maatonut					12	65	1070		
	w=400	Keskinkertaisesti maatonut tai tiivistymätön turve					3	48	1050		
	w=600	Maatonut turve, tiivistymätön					1	25	1030		
Savi	su=10	Pienempää ei saisi radan alla olla					18	64	1430	0.45	
	su=15					25	72	1450	0.45		
	su=20					37	87	1490	0.45		
	su=25					46	98	1530	0.45		
	su=30					53	106	1580	0.42		
	su=40					64	118	1660	0.40		
Karkea siltti	Löyhä	6	30	6	65	0.3	28	30	85	1500	0.4
	Keski- tiivis	12	70	15	110	0.3	30	50	100	1650	0.4
	Tiivis	20	100	30	200	0.3	36	60	110	1800	0.4
Hieno hiekkä	Löyhä	8	35	10	100	0.5	30	40	100	1550	0.3
	Keski- tiivis	15	75	22	150	0.5	33	55	110	1700	0.3
	Tiivis	25	120	35	220	0.5	36	70	120	1850	0.3
Hiekkä	Löyhä	5	20	8	220	0.5	32	60	120	1600	0.25
	Keski- tiivis	10	45	18	300	0.5	35	100	150	1750	0.3
	Tiivis	15	70	30	450	0.5	38	160	180	1900	0.3
Sora	Löyhä	5	12.5	7	450	0.5	34	90	150	1600	0.25
	Keski- tiivis	8	38	15	600	0.5	37	180	200	1750	0.3
	Tiivis	15	60	25	900	0.5	40	300	250	1900	0.3
Moreeni	Hyvin löyhä	8	30	15	400	0.5	32	100	150	1600	0.3
	Löyhä	15	70	40	700	0.5	34	200	200	1700	0.35
	Keski- tiivis		120	100	900	0.5	36	400	300	1900	0.35
	Tiivis		Lyömällä	150	1500	0.5	38	800	400	2100	0.35

Kerroksellisen maapohjan pystysuuntaisen ominaistajuuden laskeminen

Viite: Handboken Bygg, Chapter G20: Massarsch, K. R., Vibrationer i jord och berg. Stockholm, 1984 pp. 517–524.

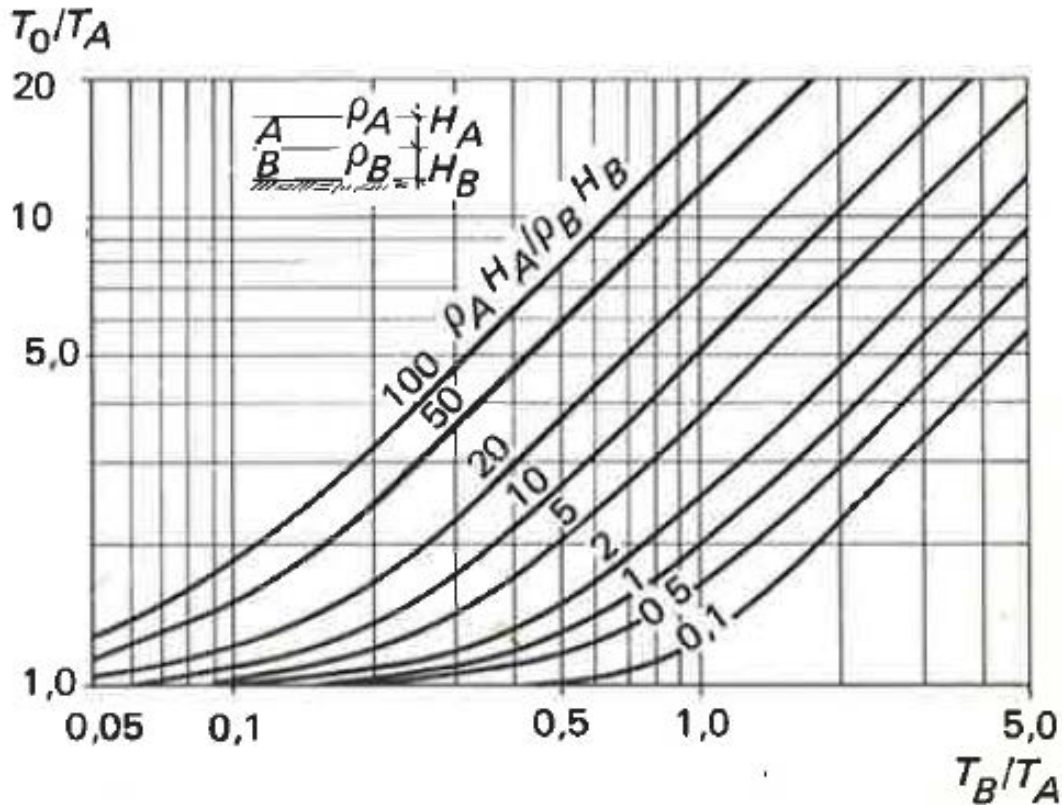
Homogeenisen maapohjan alimman ominaisjakson pituus, T, voidaan määrittää kaavalla (1)

$$T = \frac{4H}{c} \quad (1)$$

missä H on maakerroksen paksuus
 c aaltoliikkeen etenemisnopeus.

On huomattava, että herätteen taajuudesta riippuen maapohjassa voi herätä myös korkeampia ominaistaajuuksia, joilla jakson pituus on $T/(1+2n)$, jossa n on kokonaisluku².

Kahdesta kerroksesta muodostuneen maapohjan alin ominaisjakson pituus voidaan määrittää seuraavasti. Ensiksi määritetään kummankin kerroksen erillisten ominaisjaksojen pituudet T_A ja T_B kaavalla (1). Kahdesta kerroksesta muodostuneen maapohjan yhteisen ominaisjakson pituus T_0 saadaan kuvasta 1.



Kuva 1. Kerroksista A ja B muodostuneen maapohjan ominaisjakson pituuden T_0 määrittäminen.

Kuvassa 1 parametrit H_A ja H_B ovat kerrosten paksuudet ja ρ_A ja ρ_B ovat vastaavien kerrosten tiheydet.

Useammasta kuin kahdesta kerroksesta muodostuneen maapohjan ominaisjakson pituudet saadaan asettamalla alkuperäisen tarkastelun kahden kerroksen yhteisen ominaisjakson pituus T_0 ylemmäksi kerrokseksi (parametrein $T_0 \rightarrow T_A$ ja $H_{A,alkuperäinen} + H_{B,alkuperäinen} \rightarrow H_A$) ja toistamalla laskenta kolmannelle kerrokselle kuvaa 1 käyttäen.

Kerroksen pystysuuntainen ominaistaajuus, f_0 , saadaan ominaisjakson käänteislukuna (2):

$$f_0 = \frac{1}{T_0} \quad (2)$$

Tässä raportissa kohteittain määritetyssä ominaistaajuudessa ei olla huomioitu ratapenkeen massan tai paksuuden vaikutusta. Kairaukset on tehty lisäksi radan ulkopuolelta enem-

²Ks. esim. <http://octavia.ce.washington.edu/drlayer/theory/T-Transfer-Function.htm>

män tai vähemmän maapohjan luonnontilaa edustavista kairauksista. Tällöin ei tule huomioduksi toisaalta penkereen painon aikaansaamaa maapohjan konsolidoitumisen aikaansaamaa tiivistymistä. Tiivistymistä tapahtuu lähinnä vain savilla ja eloperäisissä maakerroksissa, joissa ajan mittaan maan huokosista poistuvan veden vaikutuksesta maarakenteen kiintoaine pakkautuu lähemmäksi toisiaan. Tämän seurauksena kerrostuman tiheys, jäykkyys ja lujuus kasvavat luonnontilaiseen verrattuna. Penkereen oman massan vaikutusta systeemin ominaistajuuteen kuten myöskään sitä, että junakuorman (akseli- ja telikuormien) dynaaminen osuus jakautuu penkereessä sitä pienemmäksi, mitä paksumpi tai jäykempi on ratapenger, ei tässä raportissa ole tarkasteltu.

Yhden vapausasteen värähtelijän analogialla voidaan päätellä, että penkereen massan kasvaminen pienentää ratapenger maapohja -systeemin ominaistajuutta, kaava (3):

$$f + \Delta f_m = \sqrt{\frac{k}{m + \Delta m}} \quad (3)$$

missä k on systeemin pystyjäykkyys
 m systeemin massa ilman pengermassaa
 Δm penkereen massa
 Δf pengermassan vaikutus systeemin taajuusmuutokseen suhteessa ominaistajuuteen ilman pengermassaa (f).

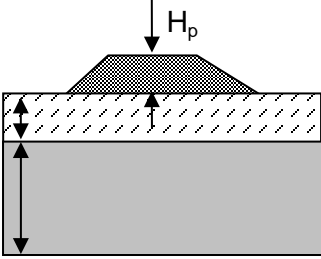
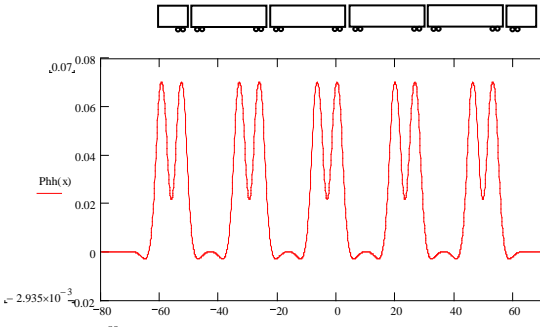
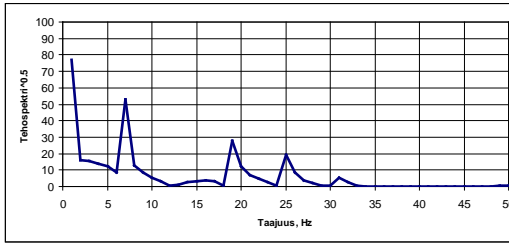
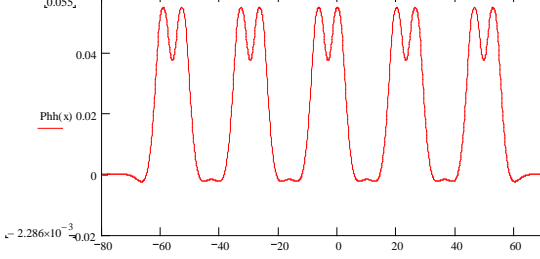
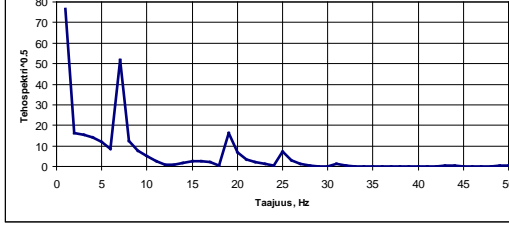
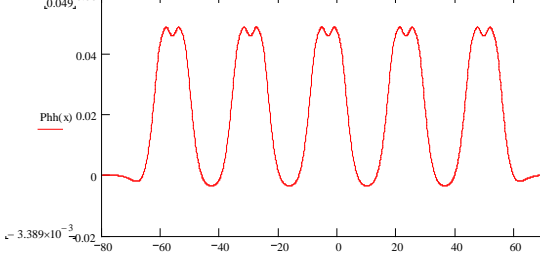
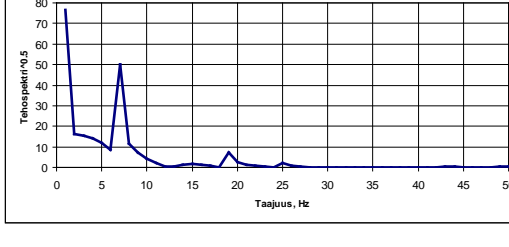
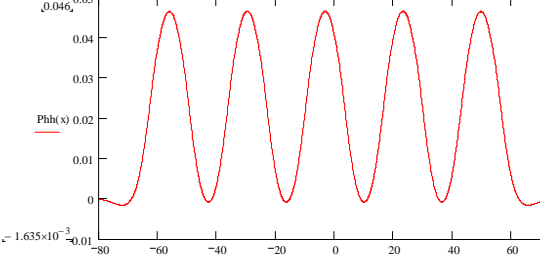
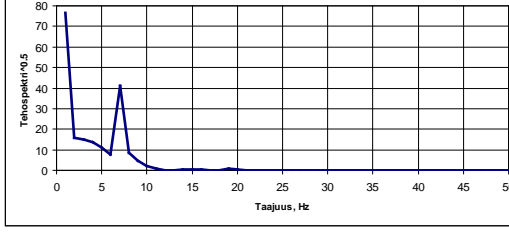
Vastaavasti penkereen pehmeiköllä aikaansaama maapohjan tiivistyminen ja sitä seuraavaa jäykkyyden kasvu muuttavat systeemin ominaistajuutta, kaava (4)

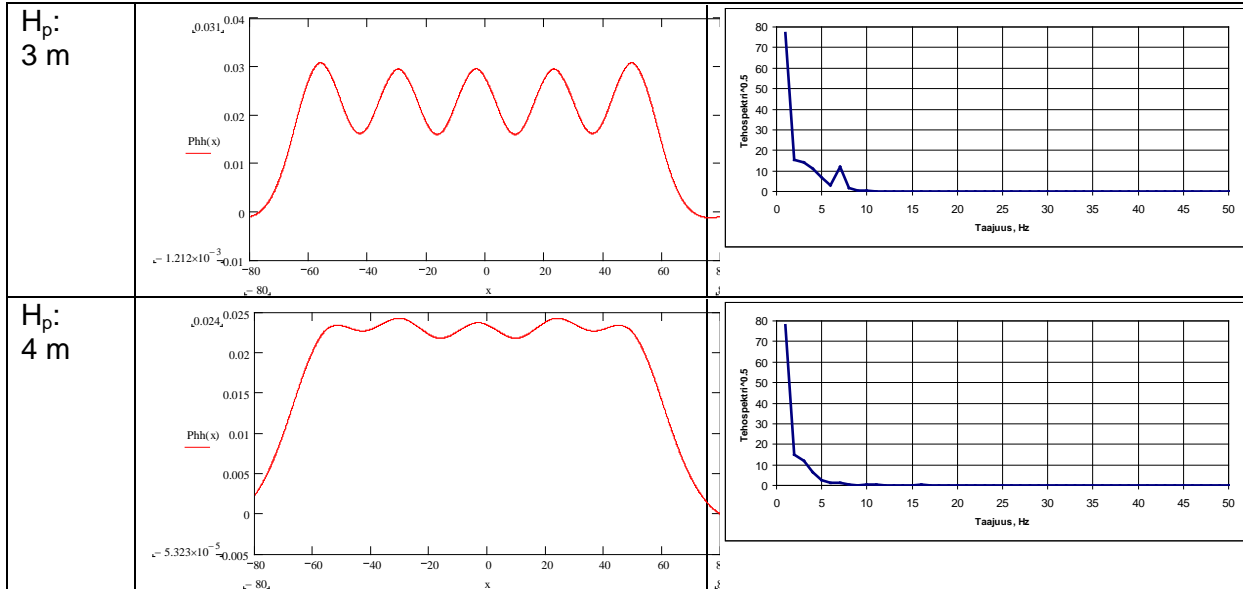
$$f + \Delta f_k = \sqrt{\frac{k + \Delta k}{m}} \quad (4)$$

Jäykkyyden kasvusta ja massan kasvusta johtuvat ominaistajuuden muutokset vaikuttavat vastakkaisesti. Yhteenlaskettu vaikutus ei siten ole määritettävissä kuin tapauskohtaisesti (maapohjan tiivistymisen ratkaisemisen kautta).

Tärinää aikaansaavan junan akseli- ja telikuormien vaikutus maapohjassa, penkereen alla.

Ympäristöön leviävä tärinä syntyy junan aikaansaaman kuormituksen (akselit, telit) painaessa penkereen alapuolista maata kuorman kohdalla enemmän kuin kuormitusten välillä. Pohjamaan hetkellinen painumamuoto säättää olennaisesti värähtelynä ympäristöön leviävän tärinän taajuussisältöön maapohjan ominaistajuuden lisäksi. Tärinän syntyminen on kokonaisuudessaan kuitenkin varsin monimutkainen prosessi mm. vaakasuuntaisen tärinäherätteen syntyminen osalta. Oheiseen kuvasarjaan on esimerkkilaskelmien tuloksilla pyritty osoittamaan miten suuri merkitys penkereen paksuudella on syntyvään tärinään. Kuvasarja on lainattu viitteestä Törnqvist, J., Hakulinen, M., Koskinen, M. ja Nuutilainen, O., Ratapenkeren värähtelyn arviointi Seinäjoki-Oulu-rataosuudella. Aineisto on saatettu julkiseksi luentokalvoilla (Törnqvist, J. 2011. Ratatekniset ohjeet – RATO 3, koulutustilaisuus 6.9.2011. VTT. Luentokalvot. 26 s.)

Pen-ger pak-suus H_p	 <p>Penkereen kimmomoduuli $E = 150$ MPa. Ylimmän maakerroksen kimmomoduuli 7 MPa, paksuus 2 m ja tiheys 1050 kg/m³. Toinen kerros 5 m paksu $E = 25$ MPa ja tiheys 1450 kg/m³. Kolmas kerros pohjamooreenia. IC2-matkustajajunavaunuja $0.5+1+1+1+1+0.5$ -kpl</p>	Signaalin tehospektrin neliöjuuri. Suure kuvaa kuormituksen taajuusjakaumaa maapohjalle.
$H_p: 1$ m		
$H_p: 1.25$ m		
$H_p: 1.5$ m		
$H_p: 2$ m		



Kuva 2. Maapohjaan kohdistuva, penkereen suunnassa vaihteleva dynaaminen kuorma (MN/jm) pengerpaksuuden vaikutuksesta – punainen kuvaaja. Oikeanpuoleisessa kuvassa on esitetty kuorman taajuusjakauma. Esimerkkilaskennan junana on käytetty matkustajajunan IC2-vaunun akseli- ja telivälejä ja akselikuormaa 150 kN junan nopeudella 200 km/h.