

Rengasmelun emissio ja leviäminen eri tiepäällysteillä

Jarno Kokkonen ja Tapio Lahti

Tiivistelmä. Artikkelissa käsitellään tieliikennemelua: rengas- ja päällystemelua. Pääpaino on hiljaisten päällysteiden vaikutuksella rengasmeluun. Melun mittaukset tehtiin ohiajomenetelmällä. Mittaustuloksien perusteella hiljaiset päällysteet ovat talvella yhtä äänekkäitä kuin referenssinä olleet tavalliset päällysteet. Kesällä hiljainen päällyste oli 2 – 3 dB hiljaisempi kuin referenssipäällyste. Tulevia laskentamalleja silmälläpitäen tässä työssä tutkittiin myös rengasmelun mahdollista suuntaavuutta yläviistoon, ja tulos oli, ettei sitä esiinny merkittävästi vakiooliikenteen tilanteessa.

Avainsanat: rengasmelu, hiljaiset päällysteet, akustiset mittaukset, nastarenkaat

Johdanto

Tieliikenteen melu on ylivoimaisesti merkittävin ympäristömelun lähde. Valtaosa tieliikennemelusta syntyy renkaan ja tienpinnan kosketuksessa. Liikenne- ja viestintäministeriön johdolla meneillään olevassa *Vierintämelun vähentäminen (VIEME)* - tutkimushankkeessa tutkitaan renkaiden ja tiepäällysteiden aiheuttamaa melua ja sen leviämistä. Tavoitteena on melutasojen alentaminen sekä melulle altistumisen vähentäminen taloudellisesti ilman, että pölyongelmat lisääntyvät ja liikenneturvallisuus heikenee.

Hankkeen melua koskevaan osaan osallistui myös TKK:n Autotekniikan laboratorio. Se on käyttänyt tutkimuksissa lähimittausmenetelmää, jossa rengasta hinataan erityisessä perävaunussa ja mittaukset tehdään vaunun kaiuttoman kopan sisällä, aivan renkaan ja tienpinnan lähellä. Melututkimusten toisen osan muodostaa Akukonin osuus, jossa tutkittiin melun säteilyä ja leviämistä tien ympäristöön.

Itse mittausten ja niiden välittömien tulosten ohella tämän osan toinen päätavoite on selvittää mittaustietojen kytkentää erityisesti pian käyttöön tulevaan EU:n tieliikennemelun Harmonoise-laskentamalliin. Tätä koskeva osuus oli mukana jo vuosien 2001 – 2003 HILJA-projektissa [1]. Se jäi kuitenkin tuloksiltaan suhteellisen niukaksi, ja selvityksen jatkamisen ja syventämisen on katsottu olevan edelleen tarpeellista ja tärkeää.

Uusia tietoja pyritään saamaan mallin vierintämelua koskevan lähdeosan ja leviämisosan keskinäisestä sovituksesta, erityisesti hiljaisten päällysteiden ja renkaiden osalta. Mallinnuksen ja vertailumittausten avulla on tarkoitus tutkia melun lähileviämistä valituissa kohteissa.

Tässä artikkelissa esitetään rengasmelun leviämistä koskevan osaprojektin tuloksia, jotka perustuvat vuoden 2006 ja alkuvuoden 2007 ohiajomittauksiin.

Mittausjärjestelyt ja -menetelmät

Mittauksia on tehty sovellettuina ohiajomittauksina (SPB) vakioliikenteessä useissa eri kohteissa Pääkaupunkiseudulla sekä rullausmenetelmällä (CB) Nokian Renkaiden koeradalla. Yhtä vakioliikenteen kohdetta (Helsingin Pirkkolantie) on tutkittu muita tarkemmin, eli mittaukset on toistettu useita kertoja eri vuodenaikoina.

Vakioliikenteessä suoritetuissa mittauksissa tiepäällysteenä kussakin kohteessa oli hiljainen yksikerroksinen kivimastiksiasfaltti (SMA) ja sen lähellä referenssipäällysteenä tavallinen asfalttibetoni (AB). Koeradalla on standardin ISO 10844 mukainen päällyste, joka on periaatteessa vastaava kuin SMA maksimiraekoolla 8 mm.

Mitatut hiljaiset päällysteet olivat Pirkkolantietä lukuun ottamatta noin vuoden ikäisiä eli ensimmäisen talven rasituksen käyneitä. Tällöin niiden ominaisuuksien pitäisi aikaisemman selvityksen mukaan olla vakiintuneita [1].



Kuva 1. Mikrofonit Nokian Renkaiden koeradalla. Oikean puoleisessa kuvassa näkyy taustalla kaukopisteen mikrofoni.

Pirkkolantien 2006 (hiljainen)-mittaus tehtiin vain kahden viikon kuluttua päällyttämisestä. Pirkkolantie 07 kevät mitattiin talven jälkeen, kun nastarenkaat olivat vielä käytössä ja Pirkkolantie 07 kesän tulokset ovat peräisin kesän ensimmäisten hellepäivien jälkeisistä mittauksista, jotka ovat vertailukelpoisia Röykän, Klaukkalan ja Konalan mittausten kanssa.

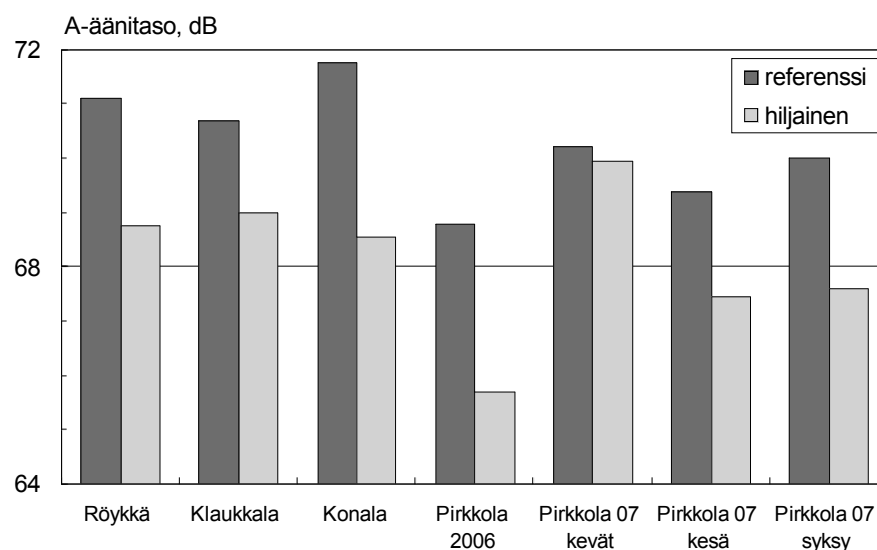
Referenssipäällysteet olivat samalla tieosuudella olevia hyväkuntoisia mutta iäkäämpiä päällysteitä kuin hiljaiset päällysteet.

Mittauspisteitä oli neljä. Vakioetäisyydellä eli 10 m päässä tien keskilinjasta oli kolme mittauspistettä. Kaksi pistettä oli sijoitettu Nordtest-menetelmän mukaisesti korkeuksille 0,2 m ja 4 m sekä yksi perinteiselle ISO: n vakiokorkeudelle 1,2 m. Näiden lähipisteiden lisäksi oli käytössä neljäs eli kaukopiste, joka sijaitsi maaston mukaan vaihdellen 25–65 m etäisyydellä tiestä. Kaikki mittaussignaalit tallennettiin DAT-nauhureilla, minkä ansiosta tallennetuille signaaleille on voitu tehdä monipuolista jälkikäsitteilyä.

Pirkkolantien aineisto luokiteltiin ja editoitiin erityisen yksityiskohtaisesti, jotta sitä voitiin analysoida tarkemmin ja jotta eri aikoina tehdyt mittaukset saatiin keskenään vertailukelpoisiksi. Analyysissä tehtiin lämpötila- ja etäisyyskorjaukset. Kokonaistasot normalisoitiin nykyisen pohjoismaisen laskentamallin lähtöarvoon, eli 1000 ajoneuvoa tunnissa, ei raskaita ajoneuvoja ja nopeus 50 km/h. Lämpötilakorjauksena kaikille päällysteille käytettiin 0,1 dB/°C ja ilman referenssilämpötilana oli 20 °C. Etäisyys normalisoitiin 10 m etäisyydelle.

Jotta tulokset olisivat luotettavia, mittausjakson tulee sisältää riittävän paljon puhtaita ohiajoja. Raskaiden ajoneuvojen osalta tämä kriteeri ei täytynyt, joten niistä ei saatu yleispäteviä tuloksia. Raskaiden ajoneuvojen kanssa on sekin ongelma, että tulokset edustavat kyseessä olevan mittauspaikan ajoneuvokoostumusta. Esimerkiksi Pirkkolantiellä raskas liikenne koostui lähinnä Ikarus E94 2- ja 3-akselisista matalalattiaisista linja-autoista. Vastaavasti muualla jakautuma voi olla toisenlainen. Esimerkiksi paperitehtaan tai sorakuopan lähistöllä raskaiden ajoneuvojen jakauma voi hyvinkin koostua lähinnä tukkirekoista tai maansiirtoautoista.

Kokonaistasojen analyysissä tulee myös ottaa huomioon ajoneuvojen todellinen keskimääräinen etäisyys mittauspisteistä. Tiettyyn aikaan yhteen suuntaan menijöitä voi olla huomattavasti enemmän kuin toiseen. Esimerkiksi Pirkkolantiellä jakauma itään ja länteen menevien välillä vaihteli yhtä suuresta kaksi- tai jopa kolminkertaiseen. Nopeusjakauksissa ei havaittu merkittäviä eroja.

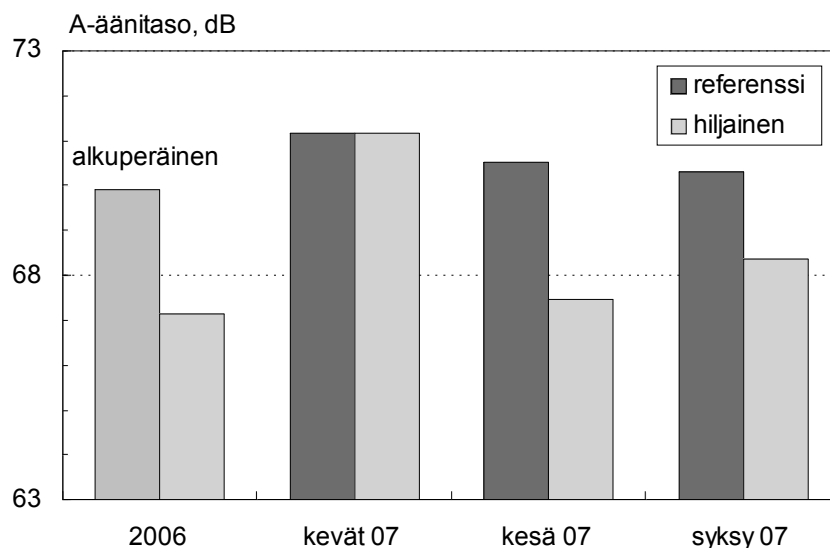


Kuva 2. Päällystevertailun kokonaistulokset koko liikennevirralle, normalisoituina nykyisen pohjoismaisen tieliikennemellun laskentamallin nimellistilanteeseen. Mallin lähtöarvo = 68 dB.

Tuloksia

Päälystevertailu

Tulokset osoittavat, että hiljaiset päällysteet olivat yleensä n. 2 – 3 dB hiljaisempia kuin vertailupäällysteet. Kuvasta 2 näkyy, että, hiljainen päällyste on talvella käytännössä yhtä äänekkäs kuin tavallinen päällyste (Pirkkola 07 kevät). Kuvassa 3 näkyy Pirkkolantien tilanne, jossa on mukana ainoastaan kevyet ajoneuvot, jolloin tulos hiukan muuttuu.



Kuva 3. Pirkkolantien normalisoitu keskiäänitaso kevyillä ajoneuvoilla.

Renkaiden vaikutus emissioon

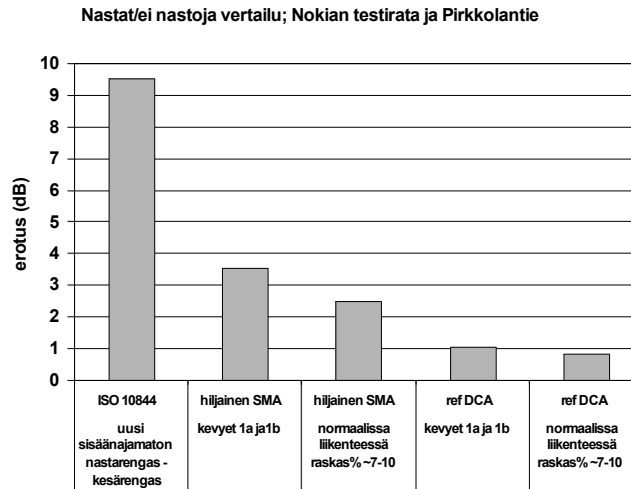
Kuvassa 4 on esitetty nasta- ja kesärenkaiden tasoeroja hiljaisilla SMA-päällysteillä ja tavallisella päällysteellä. Vertailun vuoksi mukana on myös nastarenkaiden vaikutus tavallisessa vakioliikenteessä, jossa joukossa on myös kitkarenkaita ja raskaita ajoneuvoja.

Koeradalla suoritetujen mittauksien perusteella kitka- ja kesärenkas ovat suunnilleen yhtä meluisat. Taulukossa 1 on esitetty rengasvertailun kokonaistulokset. Niistä havaitaan, että sisäänajamaton nastarenkas on selvästi äänekkäämpi kuin testin muut renkaat.

Nastarenkailla ja muilla kuvioituilla renkailla iskuperäinen melu on pääasiallinen melun lähde.

Kuviopalan iskut

Kuviopalan iskussa renkaan kuviopala tai muu osa kuten nasta iskeytyy tienpintaan aiheuttaen radiaalisia värähtelyjä, jotka leviävät myös tangentialisina värähtelyinä renkaan pinnassa ja vyörakenteessa, leviten renkaan kylkiin. Sama ilmiö tapahtuu myös silloin kun kontaktivoima vapautuu jättöreunan puolella.



Kuva 4. Nastarengaiden vaikutus rengasmelun emissioon. ISO 10844 pinnoite on Nokian koe-radalta, muut tulokset ovat Pirkkolantieltä

Taulukko 1. Rengasvertailun kokonaistulokset: melupäästöt (A-äänitehotasot L_{WA}) sekä vertailun vuoksi EU:n uuden Harmonoise-laskentamallin nimellistilanteen vierimismelun päästöt [dB].

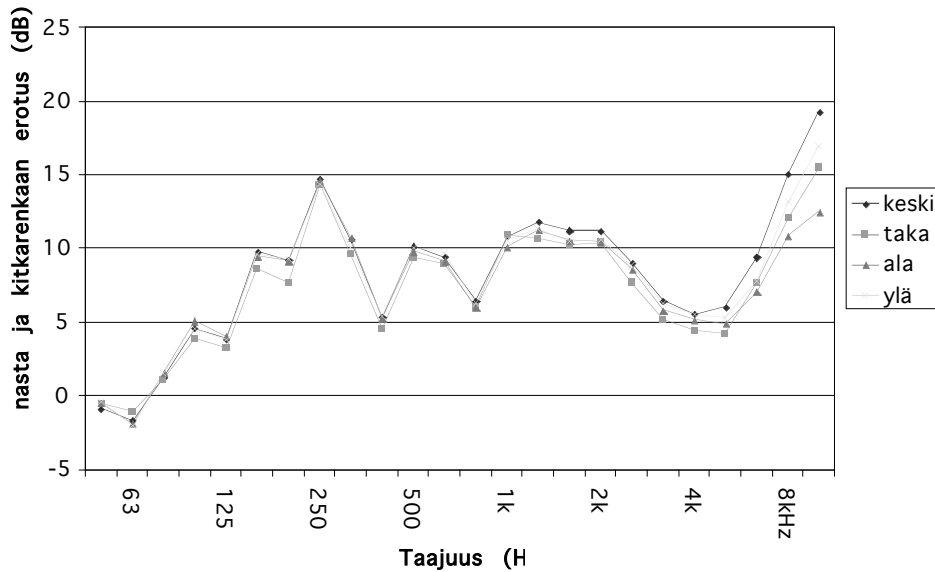
| rengas | 50 km/h | 80 km/h |
|------------------|---------|---------|
| kesä | 93,3 | 100,4 |
| kitka | 94,1 | 100,9 |
| nasta | 102,8 | 109,2 |
| Harmonoise vakio | 93,5 | 99,9 |

Tienkarheudesta aiheutuvat iskut

Toisena iskuvärähtelynä on tiepinnan karheudesta aiheutuvat iskut, joiden mekanismi on sama kuin kuviopalan iskussa, mutta jossa tienpinnan vaihtelu ”vasaroi” renkaan pintaa johtoreunan puolella ja vastaavasti vapauttaa jättöreunan puolella. Iskut ilmenevät tietyllä taajuudella, riippuen kuviopalojen välisestä etäisyydestä tai tien pinnan karheudesta sekä ajoneuvon nopeudesta. Iskuvoimien aiheuttamat perustaajuudet voidaan laskea kaavan (1) avulla.

$$f = v/\lambda \quad (1)$$

jossa λ on kuvioinnin tai tien pinnoitteen jakson pituus ja v auton nopeus. Iskun aiheuttaman herätteen amplitudiin liittyy hyvin monimutkaisia muuttujia, kuten kuvion syvyys, leveys, kumin kovuus jne. Renkaan vyörakenteen resonanssit voivat merkittävästi vahvistaa iskusta aiheutuvia herätteitä [2].



Kuva 5. Nastojen vaikutus testirenkaan terssispektriin nopeudella 50 km/h..

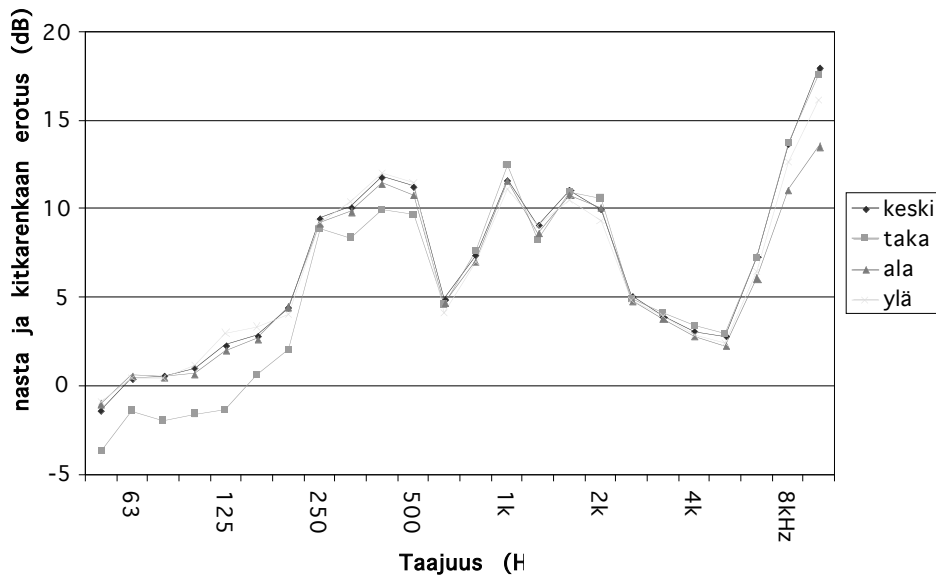
Nastarenkaan tangentiaalinen rapina tienpäällysteessä aiheuttaa piikin spektriin 6–7 kHz kohdasta alkaen. Mutta kun tutkitaan kahden samanlaisen nasta- ja kitkarenkaan spektrien erotusta, nähdään helposti renkaan periodisen kuviopalan iskuista aiheutuva voimakas korostus terssikaistalla 250 Hz (nastarenkaalla). Nastan painautuminen kuviopalaan saa myös kumipalan värähtelemään radiaalisesti, mikä näkyy keskitaajuuksilla [2]. Tämä lienee pääsyy nastarenkaiden äänekkyteen.

Kun verrataan kuvien 5 ja 6 terssispektrien erotuksia, nähdään myös miten periodisen kuviopalan iskun aiheuttama piikki siirtyy nopeuden kasvaessa. Kaavan (1) avulla voidaan laskea testatun renkaan kuvioinnin jakson pituudeksi noin 56 mm, kun nopeudella 13,9 m/s taajuus on 250 Hz. Kun nopeudeksi vaihdetaan 22,2 m/s, saadaan taajuudeksi 400 Hz, mikä näkyy selvänä piikkinä kuvassa 6.

Rengasmelun suuntaavuus yläviistoon

Kaikissa mittauksissa on havaittavissa, että kun etäisyyskompensoinnit on tehty, ylämikrofonin (4 m) tasot ovat hiukan suuremmat kuin keskimikrofonin (1,2 m) ja selvästi suuremmat kuin alamikrofonin (0,2 m). Ilmiö esiintyy korkeilla taajuuksilla. Tyypillisesti yläpisteen A-painotettu taso oli noin 1 dB suurempi kuin keskimikrofonilla. Alamikrofonin tulokseen vaikutti ilmeisen paljon maanpinnan vaimennus.

Henkilöauton rengasmelun vertikaaliseen suuntaavuuteen vaikuttanee lähinnä auton kori. Eri renkailla tai tien pinnoitteilla ei havaittu olevan vaikutusta suuntaavuuteen.



Kuva 6. Nastojen vaikutus testirenkaan terssispektriin nopeudella 80 km/h..

Lähteet

1. Kelkka M, Hyyppä I, Raitanen N, Valtonen J & Sainio P, *Hiljaiset päällysteet – Tuotevaatimukset ja mittarit*. TKK Tielaboratorion julkaisuja TKK-TIE-A55, Espoo 2003, 67 s.
2. Sandberg U & Ejsmont J, *Tyre/road Noise ReferenceBook*. Informex, Kisa (Ruotsi) 2002, s.105–126.

Jarno Kokkonen ja Tapio Lahti
 Insinööritoimisto Akukon Oy
 Kornetintie 4 A
 00380 Helsinki