

# SPEKTRI VAIKUTTAA MELUN HÄIRITSEVYYTEEN: MITTALUKUJEN VERTAILU UUTTA SPEKTRISANKTIOMALLIA VARTEN

Antti Kuusinen<sup>1</sup>, Elisa Rantanen<sup>1</sup>, Valtteri Hongisto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Turku University of Applied Sciences  
Joukahaisekatu 3–5  
20520 Turku  
etunimi.sukunimi@turkuamk.fi

## Tiivistelmä

Melun häiritsevyyden arvioinnissa käytetään A-painotettua keskiäänitasoa ( $L_{Aeq}$ ). Keskiäänitaso ei kuitenkaan vastaa koettua häiritsevyyttä, jos melu on esimerkiksi kapeakaistaista tai impulssimaista, tai se esiintyy yöaikaan. Tämän vuoksi mitattuun keskiäänitasoon lisätään tiettyjä ”desibelisanktioita” melun ominaisuuksien perusteella. Melun spektrimuodon on nyt myös todettu vaikuttavan häiritsevyyteen. Spektrimuotoon perustuvaa sanktiointimenetelmää ei kuitenkaan vielä ole kehitetty, vaikka kirjallisuudesta löytyy monia objektiivisia mittalukuja (eli yksilukuarvoja), joilla voidaan arvioida laajakaistaisen, ja ajallisesti tasaisesti jatkuvan melun häiritsevyyttä. Tämän tutkimuksen tarkoitus on verrata miten eri mittaluvut vastaavat A-painotetun keskiäänitason ja spektrin vaihteluista johtuvan koetun häiritsevyyden muutoksiin sekä kehittää malli, jolla voidaan ennustaa melun spektrimuodosta koitua häiritsevyys ja sanktio. Tarkastelu perustuu Kuusinen ym. aiemmin julkaistuun psykoakustiseen kokeeseen, jossa tutkittiin 23:a tasaisesti jatkuvaa laajakaistamelua eri spektrimuodoilla välillä 32–48 dB  $L_{Aeq}$ . Tulosten mukaan spektrikeskipiste (eng. spectral centroid) ja terävyys (eng. sharpness) ovat parhaat ehdokkaat spektri-perusteisen sanktion ennustamiseen. Spektrikeskipiste on käytännön kannalta yksinkertaisempi mittaluku.

## 1 JOHDANTO

Tietyt äänen ominaisuudet, kuten impulssimaisuus ja tonaalisuus, lisäävät melun häiritsevyyttä enemmän kuin mitä mitattu keskiäänitaso,  $L_{Aeq}$ , antaisi ymmärtää [1]. Monissa maissa tämä subjektiivisen häiritsevyyden kasvu otetaan huomioon lisäämällä sanktio,  $k$ , mitattuun  $L_{Aeq}$ -arvoon ennen sen vertaamista määrättyihin raja-arvoihin.

Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että myös tasaisesti jatkuvan melun spektri vaikuttaa häiritsevyyteen [1], mutta spektriin perustuvaa sanktiomenetelmää ei ole vielä esitetty. Kuusinen ym. [2, 3] raportoivat hiljattain tutkimuksesta, jossa havaittiin, että spektrimuodon perusteella sanktiot voivat olla jopa yli 10 dB. He havaitsivat myös, että nämä sanktiot eivät riippuneet  $L_{Aeq}$ -tason vaihtelusta välillä 32–48 dB  $L_{Aeq}$ . Tutkimuksessa havaittiin, että esimerkiksi spektrikeskipiste korreloi vahvasti havaittujen sanktioiden kanssa. Tutkimuksessa ei kuitenkaan tarkasteltu, miten muut tunnetut objektiiviset mittaluvut ovat yhteydessä kokeessa havaittuun sanktioon.



© 2025 Antti Kuusinen, Elisa Rantanen ja Valtteri Hongisto. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons BY 4.0 Kansainvälinen –lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannais-teoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

Tämän työn tarkoituksena on jatkaa aiempaa tutkimusta pyrkimällä tunnistamaan parhaat ehdokkaat spektriin perustuvan sanktiointimenettelyn kehittämiseksi. Tarkastelemme ja vertailemme melututkimuksen historiassa esiintyneitä erilaisia mittalukuja [4].

## 2 MENETELMÄT

Tämä työ perustuu aiemmin raportoituun psykoakustiseen kokeeseen [2, 3], jossa selvitettiin melun spektrin vaikutusta häiritsevyyteen. Ärsykkeinä käytettiin 23 erilaista spektrimuotoa kolmella  $L_{Aeq}$ -tasolla (32, 40, 48 dB) sekä vertailuääniä yhdeksällä tasolla (28–60 dB). Spektrimuodot on esitetty yksityiskohtaisesti em. julkaisuissa [2, 3]. Vertailuäänten avulla määritettiin sanktio, joka kuvaa, kuinka paljon vertailuäänen tasoa tulisi nostaa, jotta se koettaisiin yhtä häiritseväksi kuin tutkittu ääni. Tutkimuksessa 40 normaalikuuloista osallistujaa arvioi 78 ääntä 11-portaisella häiritsevyyssasteikolla.

Tulokset osoittivat, että vaikka  $L_{Aeq}$ -tasolla oli selvä vaikutus häiritsevyyteen, sanktiot olivat riippumattomia tasosta. Tämä viittaa siihen, että spektrimuoto vaikuttaa häiritsevyyteen  $L_{Aeq}$ -tasosta riippumatta.

### 2.1 Mittaluvut

Taulukot 1 ja 2 esittävät tarkastelussa olevat mittaluvut. Taulukossa 1 on tasoriippuvaisia mittalukuja, jotka perustuvat äänenpainetasoihin (SPL) ja meluluokittelukäyriin. Näiden kriteerien tarkemmat kuvaukset löytyvät viitteestä [4]. Taulukossa mainittu tangenttime-netelmä tarkoittaa menettelyä, jossa oktaavikaistojen äänenpainetasojen arvot asetetaan päällekkäin luokittelukäyrien kanssa, ja ensimmäinen käyrä, joka jää kokonaan mitattujen arvojen yläpuolelle, määrittää luokitteluarvon. Taulukossa 2 mittalukuja, jotka kuvaavat äänen spektrin muotoa.

**Taulukko 1: Tasoriippuvaiset mittaluvut**

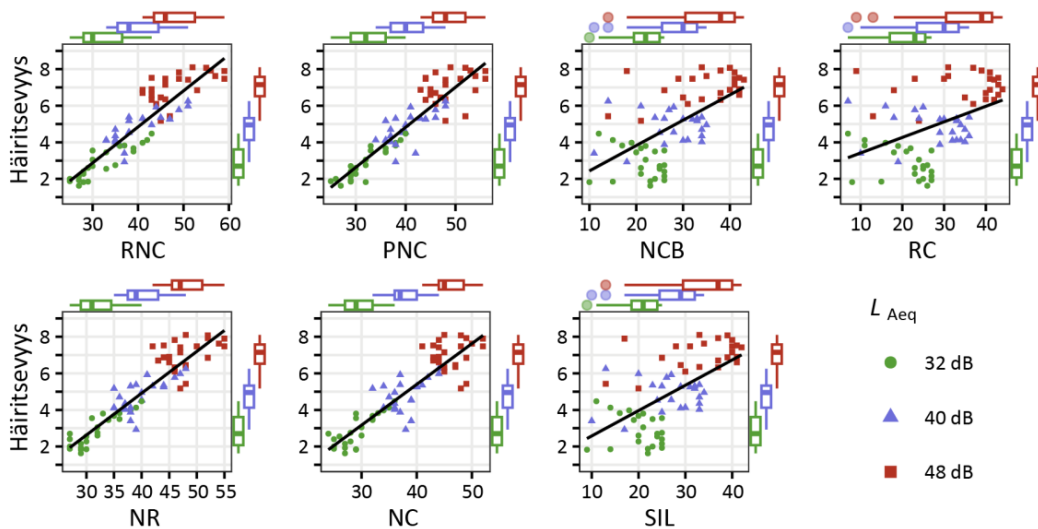
Lyhenne	Nimi / Kuvaus
<b>SIL</b>	<i>Speech Interference Level</i> : 500, 1000, 2000 ja 4000 Hz oktaavikaistojen SPL-arvojen aritmeettinen keskiarvo.
<b>NC</b>	<i>Noise Criterion</i> : Lasketaan SIL ja valitaan NC-(SIL)-käyrä. Jos mitattu SPL ylittää käyrän, käytetään tangenttime-netelmää NC-XX (Hz) arvon määrittämiseen.
<b>PNC</b>	<i>Preferred Noise Criterion</i> : Menettely kuten NC:ssä, mutta perustuu <i>Preferred SIL</i> :iin (500, 1000 ja 2000 Hz keskiarvo). PNC-käyrät sallivat enemmän poikkeamaa matalilla ja korkeilla taajuuksilla.
<b>NCB</b>	<i>Balanced Noise Criterion</i> : Lasketaan SIL ja valitaan NCB-käyrä samalla SIL-arvolla. Määritetään taajuuskaista, joka on lähimpänä NCB-käyrää. Tarkistetaan myös, sisältääkö melu "jyrinää" tai "sihinää".
<b>RC</b>	<i>Room Criterion</i> : RC-arvo/käyrä määritetään 500, 1000 ja 2000 Hz oktaavikaistojen SPL-arvojen keskiarvona. Sisältää myös erillisen spektrimuodon arvioinnin.
<b>NR</b>	<i>Noise Rating</i> : Käyräarvo määritetään tangenttime-netelmällä.
<b>RNC</b>	<i>Room Noise Criterion</i> : Käyräarvo määritetään tangenttime-netelmällä.

**Taulukko 2: Spektrimuotoa kuvaavat melukuvaajat**

Lyhenne	Nimi / Kuvaus
SH	<i>Sharpness</i> [acum]: Äänenvoimakkuuden "massakeskipiste" Bark-as-teikolla [5].
SC	<i>Spectral Centroid</i> : Lasketaan mitatuista 1/3-oktaavikaistojen SPL-arvoista. Arvot kuulokynnyksen ja 15 dB:n alapuolella asetetaan nol-laksi.
$L_{A,lo-hi}$	Erotus matalien (63–500 Hz) ja korkeiden (1000–8000 Hz) oktaavikaistojen äänenenergioiden välillä [dB] [6].
QAI	<i>Quality Assessment Index</i> : RC-luokitus lasketaan ensin, ja spektripoikkeamat valitusta RC-käyrästä määritetään matalilla (16, 31.5, 63 Hz), keskitaajuuksilla (125, 250, 500 Hz) ja korkeilla taajuuksilla (1000, 2000, 4000 Hz). QAI määritellään suurimpana poikkeamana näiden kolmen alueen välillä.

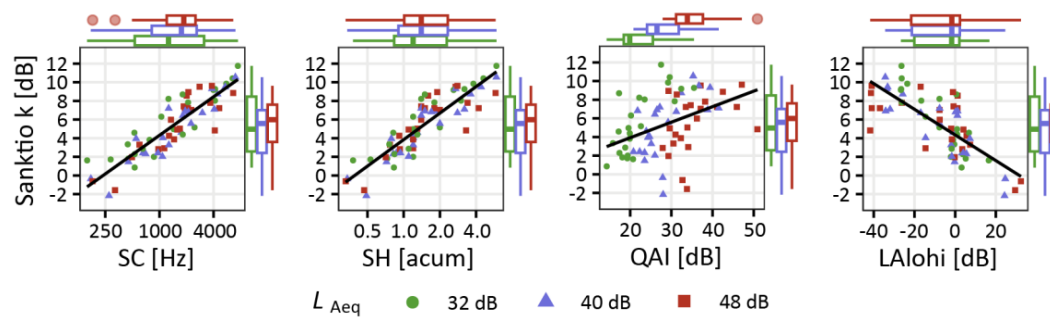
### 3 TULOKSET

Kuvassa 3 esitetään tasoriippuvaisten mittalukujen ja häiritsevyyden väliset yhteydet. Yläreunan laatikkokuviot (marginaalijakaumat) osoittavat, miten äänen taso vaikuttaa eri kuvaajien arvoihin. Tasovaikutus on selvästi nähtävissä kaikissa kuvaajissa, mutta joidenkin kohdalla jakaumat eri tasojen välillä ovat epätasaisia verrattuna häiritsevyyssarvioiden jakaumiin (kuvan oikeassa reunassa).



**Kuva 1:** Hajontakuviot, marginaalijakaumat ja lineaariset yhteydet objektiivisten tasoriippuvaisten mittalukujen ja häiritsevyyden välillä.

Vahvimmat lineaariset yhteydet häiritsevyyteen havaittiin kuvaajilla RNC, PNC, NR ja NC, joiden arvot myös jakautuivat tasaisesti eri  $L_{Aeq}$ -tasolla. Sen sijaan SIL, NCB ja RC osoittivat hajanaisempia ja epätasaisempia jakaumia.



**Kuva 2.** Hajontakuviot, marginaalijakaumat ja lineaariset yhteydet objektiivisten spektrimuotoa kuvaavien mittalukujen ja sanktion  $k$  välillä.

Kuvassa 2 esitetään spektrimuotoa kuvaavien mittalukujen ja sanktion väliset yhteydet. Marginaalijakaumat (laatikko-kuviot) osoittavat, että äänen tasolla oli vain vähäinen vaikutus SC, SH ja  $L_{A,lo-hi}$ -kuvaajien arvoihin, mutta QAI-kuvaajassa taso näyttää vaikuttavan selvästi. QAI osoittaa myös suurinta hajontaa ja heikointa yhteyttä sanktioon verrattuna muihin kolmeen kuvaajaan. SC ja SH korreloivat erittäin vahvasti ja positiivisesti sanktion kanssa, kun taas  $L_{A,lo-hi}$  osoittaa lähes yhtä vahvan, mutta negatiivisen yhteyden. SC:n ja SH:n hajontakuviot ovat hyvin samankaltaisia keskenään.

Spektrikeskipiste voidaan laskea suoraan kolmasosaoktaavikaistojen äänenpainetasoista, ilman että tarvitsee muuntaa arvoja Bark-asteikolle (vrt. SH). Siksi on perusteltua suosia spektrikeskipistettä sanktiomallin kehityksessä. Spektrikeskipisteeseen perustuva sanktiomalli on lähetetty arvioitavaksi tieteelliseen lehteen, eikä sitä voida sen takia vielä julkaista tässä paperissa.

## VIITTEET

- [1] Hongisto V., Oliva D., ja Rekola L. Subjective and objective rating of spectrally different pseudorandom noises—Implications for speech masking design. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137(3), 1344-1355. 2015
- [2] Kuusinen A., Rantanen E., ja Hongisto V. Spektri vaikuttaa melun häiritsevyyteen: Sanktio pahimmillaan 12 dB. Akustiikkapäivät 2023, 15.-16.11.2023, Tampere, Finland.
- [3] Kuusinen A., Rantanen E., ja Hongisto V. Annoyance penalty due to the spectrum shape of wideband noise. *Building and Environment*, 250, 111163, 2024.
- [4] Tocci G. C. Room noise criteria—the state of the art in the year 2000. *Noise News International*, 8(3), 106-119, 2000.
- [5] Zwicker E. and Fastl H. *Psychoacoustics: Facts and Models*, 3rd Edition, Springer, 2006.
- [6] Veitch J. A., Bradley J. S., Legault L. M., Norcross S., ja Svec J. M. Masking speech in open-plan offices with simulated ventilation noise: noise level and spectral composition effects on acoustic satisfaction. *Institute for Research in Construction*, Internal Report IRC-IR-846. 2002