

## ASUNTOON KUULUVAN KAPEAKAISTAISEN MELUN SANKTIOINTI - LABORATORIOTUTKIMUS

David Oliva<sup>1</sup>, Valtteri Hongisto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Turun ammattikorkeakoulu, sisäympäristön tutkimusryhmä  
Lemminkäisenkatu 14-18 B  
20520 Turku  
etunimi.sukunimi@turkuamk.fi

### Tiivistelmä

Kapeakaistaisesta ympäristömelusta tulee ohjeiden mukaan antaa sanktio  $k$ , joka lisätään keskiäänitason  $L_{Aeq}$  päälle ennen tuloksen vertaamista ohjearvoon. Menettely johtuu siitä, että kapeakaistainen melu voi olla häiritsevää kuin laajakaistainen melu, jossa kapeakaistaisuutta ei ole. Kirjallisuudessa ei kuitenkaan ole näyttöä sille, minkälainen sanktion pitäisi olla, kun äänitaso on alle 35 dB, joka on asunnoissa yleinen tilanne. Tavoitteena oli selvittää, minkälainen sanktio kapeakaistaisesta melusta tulisi asettaa eri ääneksen taajuuksilla, erottuvuuksilla ja kokonaisäänitasoilla. Laboratoriokokeeseen osallistui 40 koehenkilöä. Tutkimuksen perusteella sanktio riippuu ääneksen taajuudesta, erottuvuudesta ja kokonaisäänitasosta. Nykyohjeiden mukaista vakiosanktiota (3, 5 tai 6 dB) ei voida pitää perusteltuna. Tutkimus on julkaistu kansainvälisessä vertaisarvioidussa tiedelehdessä.

### 1 JOHDANTO JA TAVOITE

Sisätiloissa kuuluva taloteknisten laitteiden melu tai ympäristömelu voi aiheuttaa häiritsevyyden kokemuksen. Häiritsevyyden edeltää yleensä vakavampia terveysvaikutuksia, joita pitkään jatkuva melu voi aiheuttaa. Melun häiritsevyyttä pitäisi pystyä objektiivisesti arvioimaan melun mittaustuloksista. Häiritsevyykokemusta ei yleensä voida selittää pelkästään A-painotetun äänitason perusteella vaan siihen voivat vaikuttaa melun erityispiirteet (kuten kapeakaistaisuus, impulssimaisuus, vaihtelevuus ja spektri), melun kesto, käynnissä oleva aktiiviteetti, asenteet äänilähdettä kohtaan ja yksilölliset tekijät.

Huoneiston sisätiloihin kantaautuvan ympäristömelun vaikutuksia pyritään suunnitteluvaiheessa minimoimaan ohjearvojen avulla (Taulukko 1). Taloteknisten laitteiden melun vaikutuksia pyritään minimoimaan suunnitteluvaiheessa Rakentamismääräyskokoelman [3,4] ohjeiden ja määräysten avulla.

Jos melussa on ns. erityispiirteitä, se voidaan kokea häiritsevämmäksi kuin äänitasoltaan yhtä voimakas melu, jossa näitä erityispiirteitä ei ole. Taulukossa 1 esitetään menettely, jonka mukaan kapeakaistaisuudesta asetetaan sanktio  $k$ , joka lisätään melusta mitatun (tai mallinnetun) keskiäänitason  $L_{Aeq}$  päälle. Lopputulosta  $L_{Aeq}+k$  verrataan ohjearvoon. Sanktio  $k$  tulisi asettaa vain siltä ajalta, jona erityispiirrettä esiintyy.

Tämä tutkimus rajautuu kapeakaistaiseen (tonaaliseen, ääneksiä sisältävään, viheltävään, ujeltavaan) meluun (*narrow-band noise, tonal noise*). Kapeakaistaisuuden sanktiointimenettelyä hankaloittaa se, että ohjearvoissa [1,2] ei esitetä kvantitatiivista

määritelmää sille, millä kriteerillä taulukon 1 vakiosanktioita asetetaan tai jätetään asettamatta. Joissakin standardeissa esitetään menetelmiä kapeakaistaisuuden asteen arvioimiseksi (*audibility, prominence*). Näiden menetelmien kytkentä häiritsevyyteen on osoitettu melko suppeilla psykoakustisilla kuuntelukokeilla, joissa on käytetty korkeita äänitasoja, joita ei esiinny asuntojen sisätiloissa.

Lisäksi sanktioiden lukuarvot eivät ole ohjeissa [1,2] samat, mikä voi johtaa kahteen erilaiseen johtopäätökseen samasta mittaustuloksesta. Tämä voi aiheuttaa joskus tulkin- taintaongelmia. Tiedekirjallisuudessa ei ole esitetty, miten sanktio tulisi asettaa, kun äänitaso on alhainen, alle 35 dB, joka on yleinen äänitaso asunnoissa.

Tavoitteena oli selvittää, minkälainen sanktio tulisi asettaa tasoltaan alhaiselle kapeakaistaiselle melulle. Tutkittavina muuttujina olivat kapeakaistaisen melun taajuus, kapeakaistaisuuden erottuvuus (piikin korkeus) sekä kokonaisäänitaso  $L_{Aeq}$ .

**Taulukko 1.** Melutason ohjearvot sisätiloissa a) valtioneuvoston päätöksen ja b) sosi- aaali- ja terveysministeriön asetuksen mukaan. Ohjearvojen soveltamisalat ja rajaukset on kuvattu tarkemmin alkuperäisdokumenteissa [1,2].

**a) Valtioneuvoston päätös 993/1992**

	Päivä	Yö
	klo 07 - 22 T=15 h	klo 22 - 07 T=9 h
<b>Ohjearvot sisällä, ulkoa kantautuva melu</b>	$L_{A,eq,T}$ [dB]	$L_{A,eq,T}$ [dB]
Asuin-, potilas- ja majoitusuoneet	35	30
Opetus- ja kokoontumistilat	35	-
Liike- ja toimistohuoneet	45	-

HUOM. Jos melu on luonteeltaan iskumaista tai kapeakaistaista, mittausta- tai laskentatulokseen lisätään 5 dB ennen sen vertaamista taulukon arvoihin.

**b) STM:n asetus 1545-2015**

	Päivä	Yö	Yö
	klo 07-22 T=15 h	klo 22-07 T=9 h	22-07 T=1h
<b>Asuinhuoneistot, palvelutalot, vanhainkodit, päivähoitopaikat ja vastaavat</b>	$L_{A,eq,T}$ [dB]	$L_{A,eq,T}$ [dB]	$L_{A,eq,T}$ [dB]
Asuinhuoneet ja oleskelutilat	35	30	
Muut tilat ja keittiö	40	40	
Nukkumiseen tarkoitettut tilat, unihäiriötä aiheuttava melu			25

HUOM. Mitattuun keskiäänitasoon lisätään laskennallinen impulssikorjaus, jonka suuruus on 5 tai 10 dB riippuen melun impulssimaisuudesta. Mitattuun keskiäänitasoon lisätään laskennallinen kapeakaistakorjaus, jonka suuruus on 3 tai 6 dB riippuen melun kapeakaistaisuudesta.

## 2 AINEISTO JA MENETELMÄ

Kaksiosaiseen laboratoriokokeeseen rekrytoitiin 40 koehenkilöä, jotka saapuivat laboratorioon yksi kerrallaan. Äänet soitettiin kuulokkeilla. Koehenkilöt arvioivat kunkin äänen häiritsevyyden asteikolla 0 - 10 (0 Ei lainkaan häiritsevää; 10 Erittäin häiritsevää). Äänen soittojärjestys vaihteli koehenkilöiden välillä kummankin kokeen sisäl-

lä. Kutakin ääntä kuunneltiin ensin noin 9 sekuntia, jonka jälkeen arvion antaminen oli mahdollista. Koe kesti yhteensä keskimäärin 75 minuuttia.

Koehenkilöt kuuntelivat sekä tonaalisia ääniä, jotka sisälsivät äänneksen sekä taustakohinaa, että referenssiääniä, jotka sisälsivät pelkästään taustakohinaa (Taulukko 2, Kuva 1). Referenssiäänten spektri oli aina A-painotuksen inversio. Referenssiääni oli vähän häiritsevä ja muistutti ilmanvaihdon ääntä.

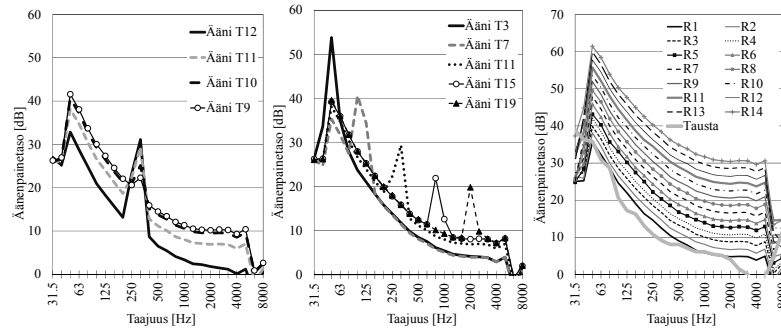
Tutkittuja äänesten taajuuksia oli viisi: 50, 110, 290, 850 ja 2100 Hz (kuva 1b). Kukin äänes esitettiin 4 eri erottuvuudella A1-A4 (*tonal audibility*). Erottuvuus [dB] tarkoittaa käytännössä piikin korkeutta taustakohinaan nähden. Piikin kasvaessa taustakohinaa pienennettiin vastaavasti siten, että kokonaisäänitaso  $L_{Aeq}$  pysyi taulukon 2 mukaisella tasolla (kuva 1a).

**Taulukko 2.** Kokeen 1 ja 2 referenssiäänät (R1-R14), kokeen 1 tonaaliset äänet (T1-T20) sekä kokeen 2 tonaaliset äänet (T21-T40). Taajuus kertoo äänneksen taajuuden. Erottuvuus on piikin korkeus (tasot A1-A4).  $L_{Aeq}$  on A-painotettu ekvivalentti äänenpainetaso.

Ääni	Taajuus [Hz]	Erottuvuus Taso	Erottuvuus [dB]	$L_{Aeq}$ [dB]
R1	Ei	-	0	19
R2	Ei	-	0	21
R3	Ei	-	0	23
R4	Ei	-	0	25
R5	Ei	-	0	27
R6	Ei	-	0	29
R7	Ei	-	0	31
R8	Ei	-	0	33
R9	Ei	-	0	35
R10	Ei	-	0	37
R11	Ei	-	0	39
R12	Ei	-	0	41
R13	Ei	-	0	43
R14	Ei	-	0	45
T1	50	A1	5	25
T2	50	A2	10	25
T3	50	A3	18	25
T4	50	A4	25	25
T5	110	A1	5	25
T6	110	A2	10	25
T7	110	A3	17	25
T8	110	A4	24	25
T9	290	A1	5	25
T10	290	A2	10	25
T11	290	A3	17	25
T12	290	A4	25	25
T13	850	A1	5	25
T14	850	A2	10	25
T15	850	A3	18	25
T16	850	A4	25	25
T17	2100	A1	5	25
T18	2100	A2	10	25
T19	2100	A3	18	25
T20	2100	A4	25	25
T21	50	A1	5	35
T22	50	A2	10	35
T23	50	A3	17	35
T24	50	A4	25	35
T25	110	A1	5	35
T26	110	A2	10	35
T27	110	A3	17	35
T28	110	A4	25	35
T29	290	A1	5	35
T30	290	A2	10	35
T31	290	A3	17	35
T32	290	A4	25	35
T33	850	A1	5	35
T34	850	A2	10	35
T35	850	A3	17	35
T36	850	A4	25	35
T37	2100	A1	5	35
T38	2100	A2	10	35
T39	2100	A3	18	35
T40	2100	A4	25	35

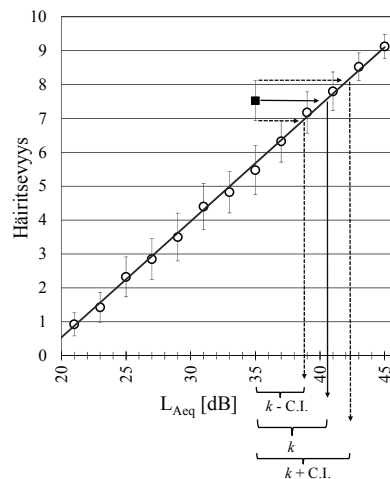
Kokeita oli kaksi: kokeessa 1 tonaaliset äänet esitettiin tasolla 25 dB  $L_{Aeq}$  ja kokeessa 2 tasolla 35 dB  $L_{Aeq}$ . Referenssiäänät R1-R14 (kuva 1c) olivat kummassakin kokeessa samoja, ja niitä soitettiin tasoilla 19-45 dB  $L_{Aeq}$  2 dB välein.

Referenssiääniä tarvittiin sanktion määrittämiseen. Määrittämenetelmä on kuvassa 2. Siinä etsittiin referenssiääni, tai sellaisen ekstrapoloitu arvo, joka koettiin yhtä häiritseväksi kuin tonaalinen ääni. Referenssiäänänen ja tonaalisen äänen tasoero on sanktion  $k$  suuruus.



**Kuva 1.** a) Äänksen erottuvuus tutkittiin neljällä eri tasolla A1-A4. Kuvan esimerkki-tapauksessa äänksen taajuus on 250 Hz. b) Äänksen taajuuksia oli tutkimuksessa viisi. Äänksen voimakkuus on tässä esimerkissä A3. c) Referenssiäänät R1-R14.

**Kuva 2.** Esimerkki sanktion määritystavasta äänelle T35. Äänen häiritsevyyden keskiarvo 40 koehenkilölle on musta neliö. 95 % luottamusväli on viiksillä. Referenssiäänien R1-R14 häiritsevyyden arvot on esitetty ympyröin. Niiden yli on tehty lineaarinen sovitus ( $y = 3.7x + 4.4$ ). Äänelle T35 annettava sanktio (ehjä nuoli) ja sanktion epävarmuus (katkoviivallinen nuoli) määritettiin lineaariselta sovitteelta. Tässä tapauksessa sanktio oli  $k = 5.3 \pm 1.1$  dB.



### 3 TULOKSET

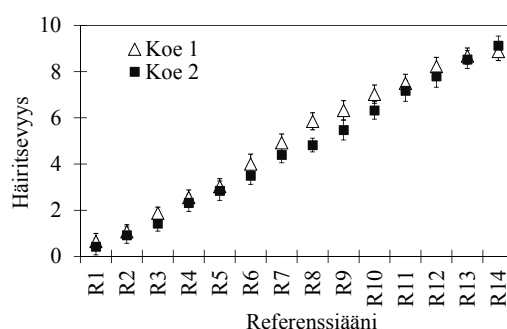
Referenssiäänien häiritsevyyden on esitetty kuvassa 3. Referenssiäänien häiritsevyyden oli lähes sama kummassakin kokeessa. Referenssiäänien häiritsevyyden selittyi hyvin yksistään A-äänitason avulla. Näin ollen referenssiäänien muodostivat luotettavan pohjan kapeakaistaisen melun sanktion määrittämiselle.

Tonaalisten äänien häiritsevyyden on esitetty kuvassa 4 kokeelle 1. Vertailukohtana on kussakin kuvassa referenssiääni, jonka kokonaisäänitaso on sama kuin tonaalisen äänen. Kuvan mukaan häiritsevyyden kasvaa referenssiäänien verrattuna äänksen erottuvuuden kasvaessa (A1 → A4) taajuuksilla 290, 850 ja 2100 Hz. Sen sijaan pientaajuisen tonaalisen äänen (50 ja 110 Hz) ei ole referenssiääntä häiritsevempää, vaikka erot-

tuvuus olisi suuri. Kokeelle 2 havainnot olivat periaatteiltaan samankaltaisia, joskin sanktiot arvoiltaan hieman pienempiä.

Päätulos, eli kapeakaistaisen melun sanktio, on esitetty kuvassa 5. Sanktio poikkeaa tilastollisesti merkitsevästi nolasta, jos sanktion keskiarvo ja 95 % luottamusväli poikkeaa nolasta. Tämä toteutuu katkoviivan yläpuolella olevien havaintojen kohdalla. Sanktio riippui voimakkaasti äänen taajuudesta, äänen erottuvuudesta sekä kokonaisäänitasosta. Sanktio oli nolla taajuuksilla 50 ja 110 Hz riippumatta erottuvuudesta ja kasvoi tämän jälkeen äänen taajuuden ja sen erottuvuuden kasvaessa.

**Kuva 3.** Häiritsevyyden keskiarvo ja 95 % luottamusväli referenssiäänille.



## POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimus oli ainutlaatuinen, koska kirjallisuudessa ei ole ennen tutkittu näin hiljaisten äänestien häiritsevyyttä. Tutkitut äänet olivat synteettisiä koostuen vain yhdestä äänestä ja taustakohinasta. Tulokset on tarkoitettu vahvistaa jatkokokeella, jossa käytetään todellisia ympäristössä nauhoitettuja ääniä, joissa voi olla useita ääneksiä.

Tulosten perusteella sanktiota ei tulisi antaa pientaajuisille tonaalisille äänille kun taas suurilla taajuuksilla sanktio olisi suurempi kuin taulukossa 1 ohjeistetaan. Tulokset ovat ohjeiden ja määräysten [1,2] mukaisia vakiosanktioita vastaan. Tulokset kannattaa huomioida tulevaisuuden ohjeistuksia kehitettäessä.

Tutkimus on julkaistu kansainvälisessä vertaisarvioidussa tiedelehdessä [5].

## 5 KIITOKSET

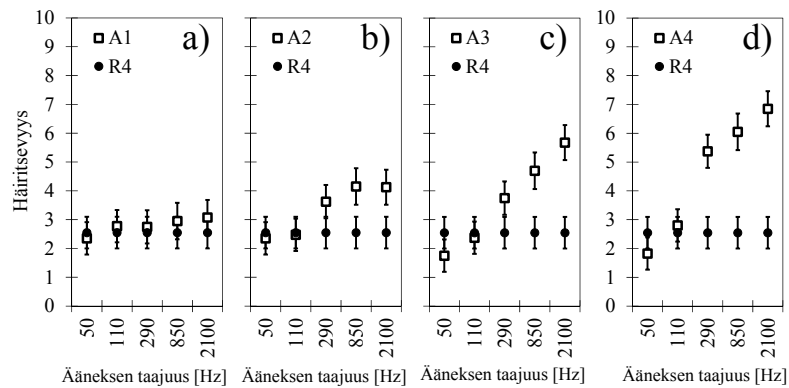
Tutkimus toteutettiin ANOJANSI –projektissa, jota rahoittavat mm. Tekes, Turun ammattikorkeakoulu, Ympäristöministeriö, Sosiaali- ja terveysministeriö, Ympäristöpooli, Infra ry ja Suomen Tuulivoimayhdistys ry.

## VIITTEET

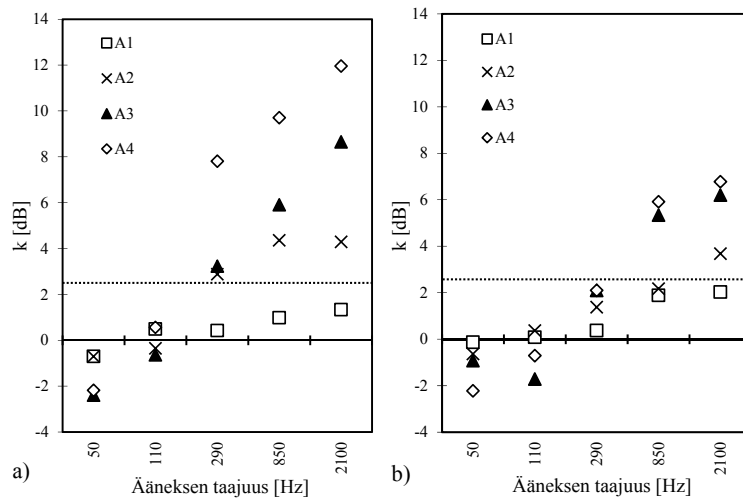
- [1] Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjeistoista, 29.10.1992, Helsinki.
- [2] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 545-2015 asunnon ja muun oleskelutilan olosuhteista. 23.4.2015, Helsinki.
- [3] C1:1998 Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, Ympäristöministeriö, Helsinki.

[4] D2:2010 Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Ympäristöministeriö, Helsinki.

[5] Oliva D, Hongisto V, Haapakangas A. (2017). Annoyance of low-level tonal sounds - factors affecting the penalty. Building and Environment, Accepted 11 July 2017.



**Kuva 4.** Häiritsevyyden keskiarvo ja 95 % luottamusväli tonaalisille äänille kokeessa 1, kun äänneksen erottuvuus on a) A1, b) A2, c) A3 ja d) A4. Referenssiäänenä on R4, koska sen A-äänitaso on sama kuin kokeessa 1 tutkittujen tonaalisten äänten (25 dB).



**Kuva 5.** Kapeakaistamelun sanktio  $k$  eri äänneksen erottuvuuksilla (A1-A4) ja taajuuksilla [Hz]. Äänneksen taso a) 25 dB  $L_{Aeq}$  ja b) 35 dB  $L_{Aeq}$ . Katkoviivan yläpuolella olevat havaintopisteet poikkeavat tilastollisesti merkitsevästi nolasta ( $p < 0.05$ ).