IMPULSSIMAISEN MELUN SANKTIOINTI – PSYKOAKUSTINEN TUTKIMUS

Ville Rajala[1], **Valtteri Hongisto**[1]

[1] Turun ammattikorkeakoulu
Lemminkäisenkatu 14-18 B
20520 TURKU
ville.rajala@turkuamk.fi; valtteri.hongisto@turkuamk.fi

Tiivistelmä

Impulssiääni saatetaan kokea häiritsevämpänä kuin muuttumaton ääni samalla keskiäänitasolla. Ero koetussa häiritsevyydessä on mahdollista kompensoida lisäämällä äänestä mitattuun keskiäänitasoon L_{Aeq} [dB] asianmukainen sanktio k [dB]. Nordtest NT ACOU 112 –metodi kuvaa impulssiäänen käyttämällä kahta suuretta: tasoero (D_L) ja nousunopeus (R_{on}), sekä esittää ennustemallin impulssimelun sanktioinnille. Tämän tutkimuksen tavoite oli selvittää, miten tasoero ja nousunopeus vaikuttavat impulssimelun häiritsevyyssanktion määrään, sekä verrata havaittuja sanktioita NT ACOU 112 –metodin ennustamaan sanktioon. Toteutimme psykoakustisen laboratoriokokeen, jossa 32 osallistujaa arvioi sekä synteettisten impulssimaisten että impulssittomien äänten häiritsevyyttä. Impulssiäänille havaitut sanktioarvot olivat välillä -2 dB ja +8 dB. Suuremmilla tasoeroilla ja nousunopeuksilla saavutettiin suurempi sanktio. Havaitut sanktioarvot ovat pienempiä kuin Nordtest-metodin ennustamat, kun $R_{\mathrm{on}} \geq 200$ dB/s. Tulosten perusteella Nordtest-metodin sanktiomallin jatkokehittäminen vaikuttaa olevan perusteltua.

1 JOHDANTO

Impulssiääni saatetaan kokea häiritsevämpänä kuin tasainen ääni samalla A-painotetulla keskiäänitasolla L_{Aeq} [dB]. L_{Aeq} ei siis välttämättä yksinään täysin kuvaa impulssiäänen häiritsevyyttä. Ero koetussa häiritsevyydessä voidaan kompensoida lisäämällä impulssiäänen mitattuun keskiäänitasoon sanktio k [dB]. Sanktion tulisi kuvata impulssimaisuuden aiheuttamaa häiritsevyyslisää. Impulssimaisuuden mittaamiseen on olemassa useita metodeja. Nordtest –metodi NT ACOU 112 [1] kuvaa impulssin käyttämällä suureita *tasoero* (D_L) ja *nousunopeus* (R_{on}). D_L kuvaa kuinka paljon impulssin äänitaso nousee ja R_{on} kuinka nopeasti äänitaso nousee. NT ACOU 112 -metodi on otettu käyttöön brittiläisessä ympäristönmelun mittausstandardissa [2] ja sen implementointia ISO standardiksi valmistellaan [3]. On olemassa hyvin vähän tutkimusta siitä, miten NT ACOU 112 -metodin avulla mitattuja impulsseja tulisi sanktioida [4]. Tämän tutkimuksen tavoite oli selvittää, miten D_L ja R_{on} vaikuttavat periodisen impulssimelun *häiritsevyyden* sanktioon ja miten havaitsemamme sanktio vertautuu NT ACOU 112 –metodin mukaiseen sanktiomalliin. Asiaa tutkittiin kahdella eri impulssiäänen spektrillä.

© 2019 Ville Rajala ja Valtteri Hongisto. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Ei sovitettu –lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

2 METODIT

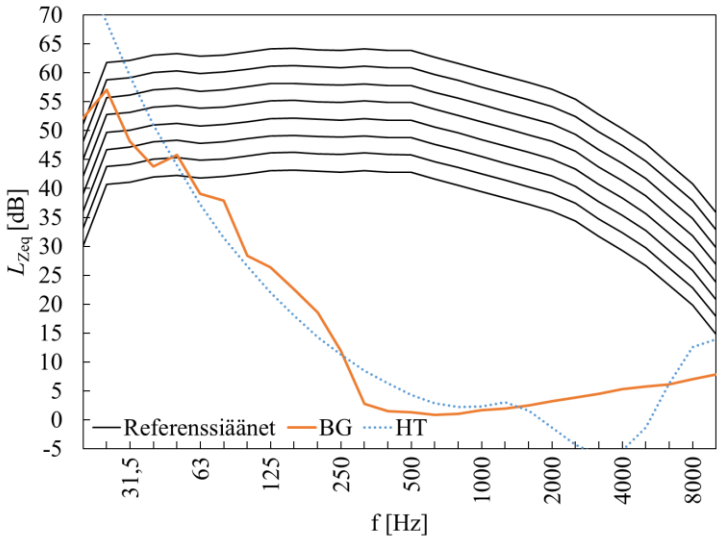
2.1 Tutkimusasetelma ja tutkittavat

Tutkimus suoritettiin psykoakustisena laboratoriokokeena, jossa tutkittavat arvioivat 74:n eri koeäänen *häiritsevyyttä*. Koeäänet sisälsivät impulssiääniä sekä referenssiääniä (tasaista kohinaa). Referenssiääniä käytettiin määrittämään impulssiääniin yhdistettävä sanktio. Tutkimuksen riippumaton muuttuja oli koeääni ja riippuva muuttuja subjektiivinen kokemus *häiritsevyys*. Tutkimukseen osallistui 32 vapaaehtoista henkilöä (13 miestä ja 19 naista), iältään 20−44 vuotta (keskiarvo 29).

2.2 Koeäänet

Koeäänet muodostuivat 66 impulssiäänestä sekä kahdeksasta referenssiäänestä. Impulssiäänet toistettiin keskiäänitasolla 55 dB L_{Aeq}. Referenssiäänien A-painotettu keskiäänitaso vaihteli 49 ja 70 dB välillä kolmen desibelin askelmin. Kuvassa 1 on esitetty referenssiäänien terssispektri. Jokaisen koeäänen kesto oli 18.5 sekuntia.

Impulssiäänet määriteltiin kolmella suureella: D_L (7 tasoa), R_{on} (10 arvoa) ja spektri (2 arvoa). Taulukossa 1 on esitetty kokeen D_L ja R_{on} arvot. Impulssiäänessä impulssilla oli toinen kahdesta vaihtoehtoisesta spektristä, S1 tai S2. S1 vastasi referenssiäänien spektriä (Kuva 1) ja S2 valkoisen kohinan spektriä.



Kuva 1 Referenssiäänien painottamaton äänitaso, L_{Zeq}, taajuuden (f) funktiona, tutkimushuoneen taustamelutaso (BG), sekä standardoitu kuulokynnys (HT) [5].

Impulssiääni muodostui kahdesta osasta: tasaisesta taustakohinasta sekä impulsseista. Taustakohina soitettiin läpi koko äänen, jotta keskiäänitaso voitiin pitää 55 dB:n tasolla impulssin voimakkuudesta riippumatta. Taustakohinan spektri vastasi referenssiäänien spektriä. Impulssiääni sisälsi aina seitsemän impulssia.

Äänet luotiin digitaalisesti (MATLAB R2017b). Referenssi- ja impulssiäänet luotiin näennäissatunnaisesta kohinasta. Impulssit luotiin kertomalla näennäissatunnaista kohinaa funktiolla. Äänitason nousussa äänenpaine nousi lineaarisesti. Äänenpaineen huipun jäl-

keen se vaimeni eksponentiaalisesti. Eksponentiaalinen vaimeneminen vastaa kahden kiinteän kappaleen törmäämisestä syntyvän äänen vaimentumista. Luotu impulssi lisättiin taustakohinaan.

Koeäänet soitettiin ja arviot kerättiin käyttämällä MATLAB-pohjaista ohjelmistoa. Äänet soitettiin käyttämällä äänikorttia (D-audio USB Pre-Amp), kuulokevahvistinta (Brüel&Kjær ZE 0769), sekä kuulokkeita (Sennheiser HD 580). Koeäänten spektri ja keskiäänitaso varmistettiin keinopäämittauksilla (Brüel&Kjær 4100).

Taulukko 1 Mustat pyöreät merkit kuvaavat kokeen D_L ja R_{on} arvoja. Jokainen kombinaatio esiintyi kokeessa kaksi kertaa: kerran spektrillä S1 ja kerran spektrillä S2.

		R_{on}, dB/s									
		5	10	15	20	50	100	200	400	600	800
D_L, dB	5	●	●	●	●	●					
	10		●	●	●	●	●				
	15			●	●	●	●				
	20				●	●	●	●			
	25					●	●	●	●		
	30					●	●	●	●	●	
	40					●	●	●	●	●	●

2.3 Kokeen kulku

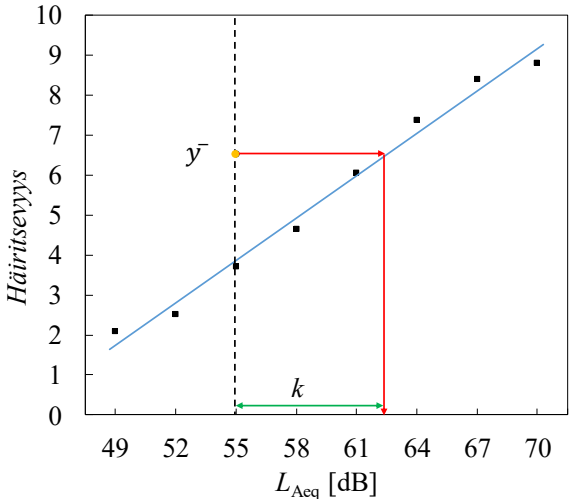
Tutkimus suoritettiin psykofysiikkahuoneessa Turun ammattikorkeakoulussa. Tutkimushuoneen taustamelutaso oli 23 dB L_{Aeq} (Kuva 1). Kokeeseen osallistui yksi tutkittava kerrallaan. Koe muodostui seitsemästä vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa tutkittivat lukivat ja allekirjoittivat suostumuslomakkeen. Toisessa vaiheessa tutkittivat täyttivät taustatietoja keränneen alkukyselyn. Kolmannessa vaiheessa testattiin tutkittavan kuulokyky. Totuttelussa (vaihe 4) tutkittava kuunteli kuusi koeääntä, mutta ei arvioinut niitä. Kokeessa vastaamista harjoiteltiin (vaihe 5) kuuntelemalla kymmenen koeääntä. Harjoittelun vastauksia ei analysoitu. Varsinainen koe (vaihe 6) sisälsi kaikkien koeäänien *häiritsevyyden* arvioinnin. Koeäänet soitettiin tutkittavalle yhdellä viidestä etukäteen valitusta näennäissatunnaisesta järjestyksestä. Referenssiäänet esitettiin koeäänien joukossa niin, etteivät ne koskaan soineet peräkkäin.

Häiritsevyys arvioitiin ISO/TS 15666 [6] mukaisella vastausasteikolla. Tutkittavalle esitettiin kysymys *”Kuinka paljon ääni häiritsee, ärsyttää tai kiusaa sinua?”* Yksitoistaportaisen vastausasteikon skaala vaihteli välillä 0−10, jossa lukuun 10 liitettiin sanalliseen kuvaus ”*Erittäin*” ja lukuun 0 kuvaus ”*Ei lainkaan*”. Tutkittavia ohjeistettiin käyttämään koko asteikkoa ja vastaamaan mahdollisimman johdonmukaisesti. Tutkittavien tuli kuunnella ääntä 18,5 sekuntia ennen vastaamista.

Kokeen jälkeen (vaihe 7) tutkittava vastaanotti 20 €:n lahjakortin korvaukseksi osallistumisesta sekä lyhyen esittelyn tutkimuksen tavoitteista.

2.4 Sanktion määritys psykoakustisen kokeen tuloksista

Impulssimaisuuden sanktio määritettiin Olivan ym. [7] kehittämällä metodilla. Metodissa impulssiäänen sanktio lasketaan äänen keskimääräisestä *häiritsevyydestä* sekä referenssiäänien *häiritsevyyskeskiarvoista* lineaariregression avulla Kuvan 2 mukaisesti.



Kuva 2 Esimerkki sanktion määrittämisestä psykoakustisessa kokeessa. Mustat neliöt kuvaavat referenssiäänien *häiritsevyysarvioiden* keskiarvoa. Sininen suora on referenssiäänien *häiritsevyyskeskiarvoihin* sovitettu lineaariregressio. Keltainen pyöreä merkki on esimerkki yhden impulssiäänen (D_L=40 dB ja R_{on}=600 dB/s, spektri S1) *häiritsevyyskeskiarvosta*. Sanktio *k* määritetään vertaamalla impulssiäänen *häiritsevyyskeskiarvoa* lineaariregressioon. Sanktio saadaan vähentämällä regressiosuoralta impulssiäänen *häiritsevyyskeskiarvoa* vastaava keskiäänitaso impulssiäänen todellisesta keskiäänitasosta (55 dB). Kuvan esimerkkitapauksessa sanktio *k*=7,5 dB.

2.5 Nordtestin sanktion ennustusmalli

Nordtest NT ACOU 112 [1] esittää mallin, jolla voidaan ennustaa impulssiäänen sanktio. Ennustettu sanktio k_N määritellään yhtälöllä

$$k_N = 1.8 \cdot (P - 5), \qquad \text{kun } P > 5, \tag{1}$$

jossa P on ns. *prominenssi* (engl. *predicted prominence*):

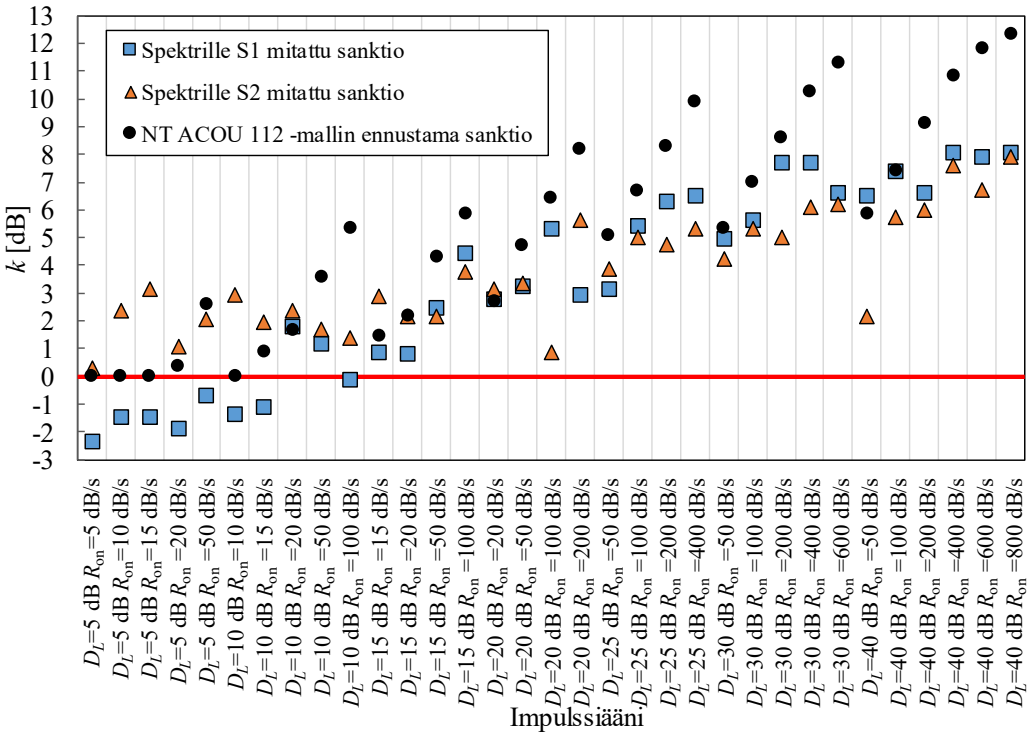
$$P = 3 \cdot \lg(R_{on}) + 2 \cdot \lg(D_L). \tag{2}$$

3 TULOKSET

Kuvassa 3 on esitetty psykoakustisen kokeen impulssiäänien sanktiot laskettuna luvussa 2.4 esitetyllä tavalla, sekä Nordtest –metodin sanktiomallilla ennustetut sanktiot (Kaava 1) Taulukon 1 äänille.

4 TARKASTELU

Psykoakustisen kokeen perusteella saadut sanktioarvot kasvavat D_L ja R_{on} arvojen kasvaessa. Osalla impulssiäänistä myös spektri vaikutti äänen *häiritsevyyteen*. NT ACOU 112 [1] sanktiomalli ennusti osalla äänistä suurempia sanktioita kuin tutkimuksessamme havaittiin, kun $R_{on} \geq 200$ dB/s. Tulosten perusteella NT ACOU 112-sanktiomallin jatkotarkastelu vaikuttaa perustellulta.



Kuva 3 Impulssiäänien sanktio psykoakustisen kokeen sekä Nordtest –ennustemallin mukaan. Punainen vaakaviiva kuvaa sanktiota 0 dB.

Toistaiseksi NT ACOU 112 -metodiin [1] on kohdistunut vain vähän tieteellistä kiinnostusta. Meidän tietääksemme tutkimuksemme on ensimmäinen tutkimuksen [4] jälkeen, jossa impulssimaisuuden *häiritsevyyttä* tutkijaan määrittelemällä impulssi D_L ja R_{on} arvojen avulla. Tutkimuksemme tuloksia voi tulevaisuudessa hyödyntää impulssiäänien sanktiomallin kehittämisessä.

NT ACOU 112 [1] sanktiomalli antaa impulssimaisuudesta sanktion, kun $R_{on} \geq 20$ dB/s ja $D_L > 10$ dB. Ennustettu alaraja vastaa hyvin tutkimuksemme tuloksia impulsseille spektrillä S1. Mittasimme kuitenkin spektrillä S2 sanktioita jo pienemmillä D_L ja R_{on} arvoilla kuin NT ACOU 112. Tulosten perusteella sanktiomallin tulisi ehkä ottaa huomioon myös äänen spektrin vaikutus. Aiemman tutkimuksen perusteella spektri on merkittävästi äänen *häiritsevyyteen* vaikuttava tekijä [8]. Vaikuttaa siltä, että useat äänen erityisominaisuudet vaikuttavat yhtä aikaa koettuun *häiritsevyyteen*.

Lopullisen sanktion määrittely impulssimaisuudelle on haastavaa, koska impulssimaisuus ei ole stationäärinen ilmiö. Me toteutimme laboratoriokokeen homogeenisillä synteettisillä äänillä. Jatkotutkimus todellisen impulssiäänen *häiritsevyydestä* suhteessa esim. kapeakaistaisen tai spektreiltään erilaisten äänten häiritsevyyteen voisi tarjota laajempaa ymmärrystä erilaisten äänten asianmukaisesta sanktioinnista.

5 YHTEENVETO

Tasoeron (D_L), nousunopeuden (R_{on}) ja spektrin vaikutusta impulssimelun häiritsevyyden sanktiointiin tutkittiin laboratorio-oloissa. Keskimäärin sanktio kasvoi D_L ja R_{on} arvojen kasvaessa. NT ACOU 112 sanktiomallin ennustamat sanktiot olivat yleensä suurempia kuin tutkimuksessa mitatut sanktiot, kun $R_{on} \geq 200$ dB/s. Tulosten perusteella NT ACOU

112 sanktiomallin jatkotarkastelu vaikuttaa perustellulta. Tutkimuksen tuloksia voi tulevaisuudessa hyödyntää impulssiäänien sanktiomallin kehittämisessä.

KIITOKSET

Tutkimus on osa Anojanssi -projektia, jonka rahoittajana toimi Business Finland, Turun ammattikorkeakoulu, Ympäristöministeriö, Sosiaali- ja terveysministeriö sekä yhteistyöyritykset. Haluamme kiittää rahoittajia tämän tutkimuksen mahdollistamisesta. Kiitokset Petra Virjoselle monista neuvoista ja MATLAB-koodeista.

VIITTEET

[1] Nordtest, Nordtest Method NT ACOU 112. Acoustics – Prominence of impulsive sounds and for adjustment of LAeq, Taastrup, Denmark: Nordtest, 2002.

[2] The British Standards Institution, BS 4142:2014. Methods for rating and assessing industrial and commercial sound, London, United Kingdom: BSI, 2014.

[3] International Organization for Standardization [Internet], Geneva Switzerland: ISO. ISO/WD PAS 1996-3 Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 3: Objective method for the measurement of prominence of impulsive sounds and for adjustment of LAeq, 18.4.2019. [viitattu 20.5.2019]. Saatavilla: https://www.iso.org/standard/77035.html

[4] Pedersen TH, Impulsive noise, An objective measuring method for the prominence of impulsive sounds and for the adjustment of LAeq, Danish Environmental Protection Agency, 2001. Working Report No.: 1.

[5] International Organization for Standardization, ISO 389-7:2005. Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions, Geneva, Switzerland: ISO, 2005.

[6] International Organization for Standardization, ISO/TS 15666:2003. Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys, Geneva, Switzerland: ISO, 2003.

[7] Oliva D, Hongisto V, Haapakangas A, Annoyance of low-level tonal sounds – Factors affecting the penalty, Build Environ, 123(2017), 404-414.

[8] Hongisto V, Oliva D, Rekola L, Subjective and Objective Rating of Spectrally Different Pseudorandom Noises – Implications for Speech Masking Design, J Acoust Soc Am, 137(3)(2015), 1344-1355.