

LAUKAUSMELUN HÄIRITSEVYSSANKTIO: ISO/PAS 1996-3 MENETELMÄN UUDELLEENARVIOINTI

Antti Kuusinen¹, Elisa Rantanen¹, Valtteri Hongisto¹

¹ Turun ammattikorkeakoulu Oy
Joukahaisenkatu 3–5
20520 Turku
etunimi.sukunimi@turkuamk.fi

Tiivistelmä

Melumittauksissa melun impulssimaisuus tulisi ottaa huomioon lisäämällä sanktio mitattuun A-painotettuun keskiäänitasoon (L_{Aeq}). Sanktio määräytyy ISO/PAS 1996-3 menetelmän mukaan mittausjakson aikana esiintyvän merkittävimmän impulssin perusteella. Impulssin merkittävyys määritetään impulssin tason ja nousunopeuden perusteella. Nämä parametrit johdetaan nopealla aikapainotuksella mitattujen A-painotettujen äänenpainetasojen aikaprofiilista. ISO:n sanktiomalli perustuu yhteen psykoakustiseen kokeeseen, jossa oli hyvin rajallinen määrä osallistujia ja ääniskenaarioita. Lisäksi uudempi tutkimus osoitti, että menetelmä voi yliarvioida todellisen koetun häiritsevyyden. Tämä herättää kysymyksiä ISO-menettelyn luotettavuudesta ja soveltuvuudesta erilaisissa impulssimelutilanteissa. Tässä työssä tutkimme impulssimelun sanktion määrittämistä laukausermelulle. Suoritimme laboratoriokokeen, jossa osallistujat arvioivat kiväärin laukausten häiritsevyyttä ulkoskenaariossa (55 dB L_{Aeq}) ja sisätilaskenaariossa (35 dB L_{Aeq}). Tulosten mukaan nykyinen ISO sanktiomalli ei sovi laukausermelun sanktion ennustamiseen. Ehdotamme vaihtoehtoisia malleja, joka ennusti koetuloksiamme ISO-menetelmää paremmin.

1 JOHDANTO

Impulssimelu koetaan häiritsevämpänä kuin tasainen melu. Useissa maissa impulssimelun häiritsevyys otetaan huomioon tekemällä korjaus (ts. ”sanktio”) mitattuun A-painotettuun äänenpainetasoon (L_{Aeq}). Impulssimelun eräs sanktiomenettely on määritelty menetelmässä ISO/PAS 1996-3 [1]. Sen mukaan sanktion suuruus, K_I (dB), riippuu impulssiäänien korostuneisuudesta P (*prominence*):

$$K_I = 1.8 \times (P - 5) \text{ dB, kun } P > 5$$

$$K_I = 0 \text{ dB, kun } P \leq 5 \quad (1)$$

Korostuneisuus P lasketaan impulssiäänien nousunopeuden (eng. Onset Rate, OR) ja tasoeron (eng. Level Difference, LD) perusteella seuraavasti:

$$P_I = 3 \log_{10}(OR) + 2 \log_{10}(LD) \quad (2)$$



© 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 johdannaisiteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

Nousunopeus kuvaa äänenpaineen nousuvauhtia huipputasoon (dB/s), ja tasoero LD tarkoittaa impulssin huipun ja taustamelun välistä desibeliero. OR ja LD määritetään L_{AF} -mittauksista, jotka on otettu 10–25 ms resoluutiolla. Impulssi tunnistetaan, kun peräkkäisten L_{AF} -näytteiden välinen OR ylittää 10 dB/s. Korostuneisuusarvot lasketaan kaikille impulssiäänille mittaussjakson aikana. Jakson suurin P-arvo määrittää lopullisen sanktion.

Vaikka ISO-menetelmä on käytännössä standardoitu, sen kehitys perustui vain yhteen psykoakustiseen kokeeseen, jossa oli rajallinen määrä osallistujia ja ääniskenaarioita [2]. Tieteellisen näytön puute herättää kysymyksiä menetelmän luotettavuudesta ja soveltuvuudesta erilaisiin impulssimelutilanteisiin. Aiempi psykoakustinen tutkimus [3] viittaa myös siihen, että ISO-menetelmä saattaa yliarvioida impulssimelun koettua häiritsevyyttä, minkä takia menetelmä tulee tarkistaa eri impulssimelutyypeille.

Tässä tutkimuksessa keskitytään erittäin impulsiivisiin ampuma-aseiden ääniin, jotka jätettiin nimenomaisesti pois ISO-menetelmän kehityksestä [2]. Myös Hongiston ja Rajalan [3] aiemmassa tutkimuksessa erittäin korkean OR-arvon omaavat impulssiäänit jäivät tarkastelun ulkopuolelle. Tässä selvitetään kiväärin laukausäänten koettuja sanktioita. Kivääri on yleinen ampuma-ase suomalaisilla ampumaradoilla.

Tutkimuksen tavoitteena on arvioida, kuinka hyvin ISO-menetelmä ennustaa laukausäänten koetun sanktion ulkotilanteessa, kun keskiäänitaso on 55 dB L_{Aeq} ja sisätilanteessa, kun taso on 35 dB L_{Aeq} . Nämä äänitasot vastaavat Suomen melusäädöksiä ulko- ja sisätiloissa ja vastaavanlaisia säädöksiä on käytössä myös monissa muissa maissa.

2 MENETELMÄT

2.1 Osallistujat

Tutkimukseen osallistui 40 normaalikuuloista henkilöä. Kuulo varmistettiin siniäänesaudiometrialla. Ennen kokeen aloittamista osallistujat lukivat ja allekirjoittivat suostumuslomakkeen ja kokeen jälkeen heille maksettiin pieni rahallinen korvaus. Tutkimukselle myönnettiin eettinen hyväksyntä Turun ammattikorkeakoulun eettiseltä toimikunnalta.

2.2. Koeasetelma

Osallistujat jaettiin kahteen ryhmään (A ja B), joihin kumpaankin rekrytoitiin 20 henkilöä. Ryhmien A ja B jäsenet osallistuivat toisistaan itsenäisiin psykoakustisiin kokeisiin A ja B. Molemmissa kokeissa noudatettiin samaa koeasetelmaa ja arviointimenetelmiä. Kokeiden välinen ero rajoittui ärsykkeiden ominaisuuksiin (äänitasoihin, spektriin ja vertailuääniin) sekä kontekstuaalisiin ohjeistuksiin. Keskeiset erot kokeiden välillä olivat seuraavat:

- **Laukausmelu**
 - *Koe A*: $L_{Aeq} = 55$ dB. Laukausmelun spektri sisälsi vain ilmakehän vaikutukset.
 - *Koe B*: $L_{Aeq} = 35$ dB. Laukausmelun spektri sisälsi ilmakehän vaikutukset sekä rakennuksen julkisivun aiheuttaman äänen vaimenemisen.
 - Taustamelu on kuvattu tarkemmin kohdassa 2.5.
- **Vertailuääniä tasot**
 - *Koe A*: 46–70 dB L_{Aeq} , 3 dB:n askelin.
 - *Koe B*: 31–63 dB L_{Aeq} , 4 dB:n askelin.
- **Kontekstuaaliset ohjeet**

- *Koe A*: ”Kuvittele olevasi ulkona omalla pihallasi tai kotisi terassilla/parvekkeella ja kuulet tämänkaltaista ääntä.”
- *Koe B*: ”Kuvittele olevasi kotona rentoutumassa, lukemassa lehteä tai kirjaa tai selaamassa internetiä, ja kuulet tämänkaltaista ääntä.”

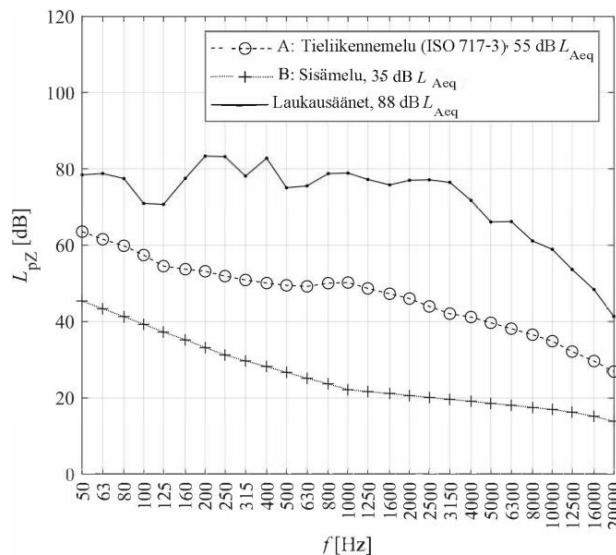
2.3 Riippumattomat muuttujat

Tutkimuksessa tarkasteltiin kolmea riippumatonta muuttujaa: tasoeroa (LD), laukausmäärätiheyttä sekä taustamelun spektriä.

- **Tasoeroa (LD)** tarkasteltiin yhdeksällä tasolla: $-5, 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30$ ja 35 dB. Tasoero laukausäänten ja taustamelun välillä säädettiin skaalaamalla taustamelun tasoa. Ärsykkeiden kokonaisäänitaso pidettiin vakiona: 55 dB L_{Aeq} ulkotilaskenaariossa (ryhmä A) ja 35 dB L_{Aeq} sisätilaskenaariossa (ryhmä B). Näin laukausäänten ja taustamelun suhteelliset tasot vaihtelivat LD-arvon mukaan.
- **Laukausmäärätiheys** eli laukauksia minuutissa (eng. shots per minute, **SPM**), sisälsi kolme tasoa: $12, 24$ ja 36 SPM.
- **Nousunopeutta (OR)** ei säädetty erikseen, sillä ärsykkeet perustuivat kenttäolosuhteissa tehtyihin aitoihin laukausäänityksiin. OR-arvo kasvoi LD:n kasvaessa ja vaihteli noin välillä 150 – 3500 dB/s.

2.4 Laukausäänet

Laukausääninä käytettiin viittä kenttäolosuhteissa tehtyä äänitystä kiväärin laukauksesta (7.62 TKIV 85, patruuna JVA0221). Äänitykset oli tehty avoimella kentällä 63 metrin etäisyydeltä 25 asteen kulmassa ampumasuuntaan nähden, ja ne toteuttivat HMMT Partners Oy. Kaikki viisi laukausta sisällytettiin ärsykkeisiin, jotta laukausäänissä olisi luonnollista vaihtelua. Kuvassa 1 esitetään laukausäänien keskimääräinen spektri.



Kuva 1. Kolmasosaoktaavikaistojen äänenpainetasot tasaisille taustameluille ja alkuperäisille laukausäänille. A: Ulkotilan tieliikennemelun spektri (ISO 717-1:2000, [6]), 55 dB L_{Aeq} . B: Sisätilan taustamelun spektri [7], 35 dB L_{Aeq} .

Yksittäiset laukaukset yhdistettiin yhden minuutin mittaisiksi ääniksi, joissa laukaukset esiintyivät peräkkäin satunnaisessa järjestyksessä halutulla laukausmäärätiheydellä. Laukausmäärätiheyttä säädettiin hyödyntämällä samettikohina -algoritmista mukautettua satunnaistettua näytteenottomenetelmää [4]. Laukausäänet suodatettiin kolmasosaaktaavikaistaisella parametrisella ekvalisaattorilla, jolla simuloitiin ilmakehän aiheuttamia spektrimuutoksia 400 metrin etäisyydellä äänilähteestä. Simuloinnissa oletettiin lämpötilaksi 15 °C ja suhteelliseksi kosteudeksi 70 %. Maanpinnan vaikutuksia ei otettu huomioon.

Ulkotilaskenaariossa (koe A) laukausäänet sisälsivät ainoastaan ilmakehän aiheuttamat spektrimuutokset. **Sisätilaskenaariossa (koe B)** laukausääniin lisättiin lisäksi rakennuksen julkisivun aiheuttama ääneneristys. Julkisivun ilmaääneneristävyyden spektri profiili kolmasosaaktaavikaistottain valittiin 26 mitatun julkisivun joukosta, jotka on raportoitu viitteessä [5]. Profiiliksi valittiin aineiston heikoin julkisivu.

2.5 Taustamelu

Taustamelun spektrit on esitetty kuvassa 1. Spektri A edustaa yleistä tieliikennemelun spektriä, joka on määritelty standardissa ISO 717-1:2000 [6]. Tätä spektriä käytettiin kokeessa A (ulkoilmaskenaario). Spektri B on keskimääräinen sisätilan meluspektri, joka on johdettu kenttämittauksista [7]. Tätä spektriä käytettiin kokeessa B (sisätilaskenaario).

2.6 Häiritsevyyden arviointi ja sanktion määrittäminen

Laukausäänien sanktiot johdettiin mittaamalla äänien koettu häiritsevyys vertailuasteikolle. Tätä varten äänien arviointi sisälsi kaksi vaihetta:

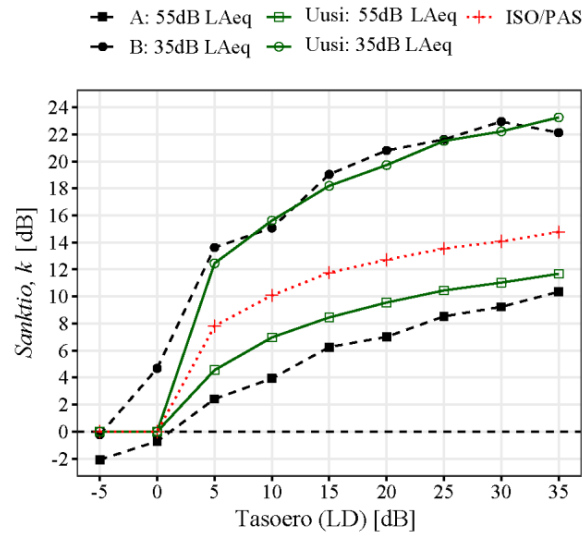
- Vertailuasteikon muodostaminen vakioäänistä, jotka sisälsivät ainoastaan tasaista taustamelun eri keskiäänitasoilla.
- Laukausäänien arviointi kaikilla riippumattomien muuttujien yhdistelmillä (ks. kohta 2.3).

Osallistajat arvioivat kunkin ärsyksen häiritsevyyttä 11-portaisella asteikolla, jossa 0 tarkoitti "Ei lainkaan häiritsevää" ja 10 "Erittäin häiritsevää". Sanktioarvojen laskentamenetelmä häiritsevyydsarvioista on kuvattu tarkemmin esimerkiksi lähteessä [3]. Koe alkoi perehdytys- ja harjoitteluvaiheilla, minkä jälkeen kukin osallistuja arvioi kaikkien 36 ärsyksen häiritsevyyden (27 kokeellista ärsykettä ja 9 vertailuärsykettä) yksi kerrallaan.

Koe toteutettiin Turun ammattikorkeakoulun psykoakustiikan laboratorioissa. Ärsykkeet esitettiin avoimilla sankakuulokeilla (Beyer Dynamics DT 1990 Pro Mki).

3 TULOKSET

Psykoakustisista kokeista A ja B johdetut sanktiot on esitetty kuvassa 2. Laukausmäärätiheydellä ei havaittu merkittävää vaikutusta sanktioihin, joten analyysi keskittyy tasoeron (LD) ja sanktion väliseen suhteeseen.



Kuva 2. Mustat katkoviivat ja täytetyt merkit edustavat psykoakustisissa kokeissa A ja B havaittuja sanktioita. Vihreät yhtenäiset viivat ja avoimet merkit edustavat (Uusi) uudella kehittämällämme mallilla ennustettuja sanktioita samoissa kokeissa (yhtälö 3). Punainen katkoviiva ja risti edustaa ISO/PAS-menetelmällä ennustettuja sanktioita (yhtälö 2).

Aiemman tutkimuksen mukaisesti sanktio kasvaa tasoeron kasvaessa [3]. Sisätilaskenaariossa laukausäänet (koe B) aiheuttivat kuitenkin selvästi suurempia sanktioita kuin ulkotilan laukausäänet (koe A). Sisätilaskenaariossa sanktio nousi jopa 23 desibeliin, kun taas ulkotilaskenaariossa se jäi 10 desibeliin.

Tämä tulos viittaa siihen, että impulssiäänet koetaan merkittävästi häiritsevämpinä sisätiloissa kuin ulkona. Kokeessa A ollut alhainen, lähellä hiljaisuutta oleva taustamelutaso sisätiloissa luultavasti korostaa hiljaisuuden rikkovia impulssiääniä, mikä johtaa korkeampaan sanktioon. Kokeessa B ollut korkeampi taustamelutaso voi luoda mielikuvan jo valmiiksi meluisasta ympäristöstä, mikä voi vähentää impulssien häiritsevyyttä. Tämä ero siis havaittiin huolimatta siitä, että objektiivisesti mitattuna impulssit erottuivat taustamelusta yhtä paljon kokeiden A ja B äänissä. Tulokset viittaavat siihen, että kontekstilla olisi merkitystä melun häiritsevyyden arvioinnissa.

Laukausmäärätiheyden vähäinen vaikutus sanktioarvoihin viittaa siihen, että impulssiäänien ja taustamelun välinen tasoero on merkittävämpi tekijä häiritsevyyden kannalta kuin impulssien esiintymistiheys — ainakin tässä tutkimuksessa käytetyllä vaihteluvälillä.

Tulokset osoittavat myös, että nykyinen ISO-sanktiomalli aliarvioi impulssimelun rangaistuksen sisätilakontekstissa, mutta ylittää rangaistuksen ulkotilakontekstissa. Jälkimmäinen havainto on linjassa Rajalan ja Hongiston [3] aiempien tulosten kanssa, vaikka heidän tutkimuksessaan ei tarkasteltu nimenomaisesti laukausääniä (joilla on suuri OR-arvo), vaan laajaa joukkoa OR- ja LD-arvoja.

Seuraava yhtälö ennusti havaittuja sanktioarvoja paremmin kuin alkuperäinen yhtälö 2:

$$P_I = (2 \log_{10} OR + 3 \log_{10} LD) \times \frac{55 \text{ dB}}{LAeq} \quad (3)$$

Kuten kuvasta 2 ilmenee, uuden yhtälön antamat sanktioarvot olivat varsin lähellä havaittuja arvoja. Tästä huolimatta olisi perusteltua tutkia vaihtoehtoisia menetelmiä impulssimelun rangastuksen ennustamiseen, jotka eivät edellytä OR- ja LD-arvojen laskemista erikseen jokaiselle yksittäiselle impulssille mittausjakson aikana.

4. KIITOKSET

Tätä tutkimusta rahoitti ympäristöministeriö. Esitämme vilpittömät kiitoksemme Timo Markulalle (HMMT Partners Oy, Suomi) laukausäänitysten ja niihin liittyvän dokumentaation toimittamisesta.

VIITTEET

- [1] “ISO/PAS 1996-3 acoustics – description, measurement and assessment of environmental noise – part 3. objective method for the measurement of prominence of impulsive sound and for adjustment of LAeq,” Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2022.
- [2] D. Manvell and T. H. Pedersen, “The development of ISO/PAS 1996-3 on impulsive sound prominence,” in Proceedings of Euronoise, 2021.
- [3] V. Rajala and V. Hongisto, “Annoyance penalty of impulsive noise—the effect of impulse onset,” Building and Environment, vol. 168, p. 106539, 2020.
- [4] V. Välimäki, B. Holm-Rasmussen, B. Alary, and H.-M. Lehtonen, “Late reverberation synthesis using filtered velvet noise,” Applied Sciences, vol. 7, no. 5, p. 483, 2017.
- [5] J. Keränen, J. Hakala, and V. Hongisto, “The sound insulation of facades at frequencies 5–5000 Hz,” Building and Environment, vol. 156, pp. 12–20, 2019.
- [6] “ISO717-1:2000 acoustics rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: airborne sound insulation,” Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2000.
- [7] M. Kylliäinen, V. Hongisto, D. Oliva, and L. Rekola, “Subjective and objective rating of impact sound insulation of a concrete floor with various coverings,” Acta Acustica united with Acustica, vol. 103, no. 2, pp. 236–251, 2017.