

AKTIIVISEN MELUNVAIMENNUKSEN TOIMINNAN ARVIOINTI

Marko Antila, Jari Kataja ja Veli-Jukka Ollikainen

VTT Tuotteet ja tuotanto
PL 1307, 33101 TAMPERE
etunimi.sukunimi@vtt.fi

1. JOHDANTO

Aktiivinen melunvaimennus (Active Noise Control, ANC) on tekniikka, jossa käytetään säädettäviä toisiolähteitä melun vaimentamiseen. Toisiolähteen tuottaman äänen ollessa vastakkaisvaiheinen alkuperäiseen meluun nähden äänet kumoavat toisensa. Aktiivista melunvaimennusta käytetään esimerkiksi ilmastointijärjestelmissä etenevän melun vaimentamiseen sekä meluisissa tiloissa luomaan vaimennettu alue kuulijan ympärille. Aktiivista melunvaimennusta on myös tutkittu ääneneristyssovelluksissa, joissa rakenteen tai aukon ääneneristävyttä pyritään parantamaan aktiivisella järjestelmällä.

Jotta aktiivisten järjestelmien suorituskykyä pystyttäisiin mittaamaan ja vertaamaan keskenään, tarvitaan yhtenäiset mittarit ja menettelytavat. Koska aktiivisissa järjestelmissä on enemmän muuttujia ja ongelmakohtia kuin passiivisissa järjestelmissä, tarvitaan huolellista ongelmakohtien kartoitusta ja ymmärtämistä sekä sopivia ratkaisumalleja toiminnan arvioimiseen.

2. AKTIIVIJÄRJESTELMIEN ONGELMA-ALUEET

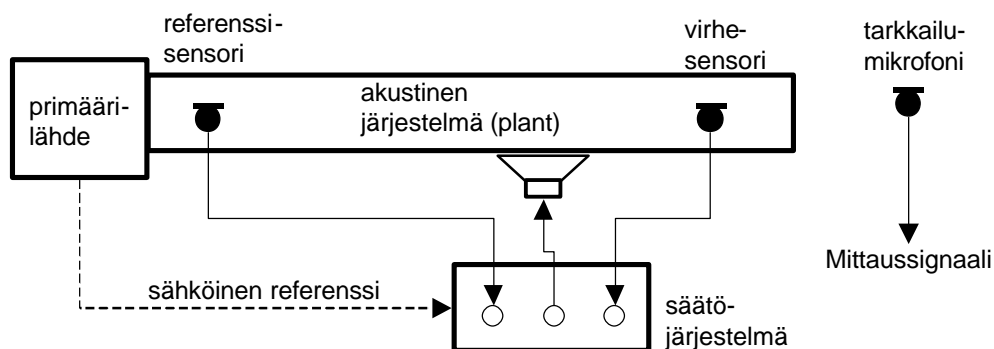
Aktiivijärjestelmien toiminnan arvioinnissa on useita eri ongelma-alueita, jotka liittyvät mittausten menetelmiin ja tulosten ilmoittamiseen, vaimennuslaitteistoon sekä järjestelmien käytännön toimintaan. Mittaukseen ja tulosten ilmoittamiseen liittyviä ongelmia ovat aktiivisen järjestelmän toiminta-alueiden huomiotta jättäminen, pistetaajuuksilla tehtyjen, eri mittausten yhdistäminen samaan kuvaan ja tulosten esitys väärästä paikasta mitatulla sensorilla.

Aktiivijärjestelmään toimintaan liittyviä ongelmia voi esimerkiksi olla se, että säädön referenssi on saatu suoraan signaalilähteestä sähköisesti. Tällainen tilanne on tyypillinen tehtäessä kokeiluja laboratorio-olosuhteissa. Toinen ongelma voi olla se, että vaimennus toimii vain kapealla taajuusalueella, mutta muualla syntyy jopa vahvistusta. Tämä on tyypillinen ilmiö käytettäessä takaisinkytkettyjä säätöjärjestelmiä. Aktiivisen äänenhallinnan järjestelmä voi myös lisätä melun kokonaistasoa ollessaan poissa päältä verrattuna järjestelmään, joka on ilman vaimenninta. Näin voi tapahtua etenkin virtauksellisessa tilanteessa.

Näistä eri ongelmista aiheutuvien epämääräisyyksien ja virheiden eliminoimiseksi on syytä ymmärtää jonkin verran aktiivijärjestelmien toimintaa, niihin liittyvää terminologiaa ja mittausten menetelmiä.

3. AKTIIVIJÄRJESTELMÄN OSAT

Aktiivinen melunvaimennusjärjestelmä koostuu primäärilähteestä (melun lähde), akustisesta järjestelmästä (plant), jossa vaimennus tapahtuu, referenssi- ja virhesensoreista, vastaanilähteestä (sekundäärilähde) sekä tarkkailupisteestä tai -pisteistä. Säätojärjestelmä tarkkailee tilannetta virhesensorilla ja pyrkii minimoimaan äänenpainetta siellä. Säätoimenetelmästä riippuen säätojärjestelmä voi myös käyttää joko akustista tietoa melusta, tai jos melu on tehty kokeiluolosuhteissa esimerkiksi kaiuttimella, suoraa sähköistä melusignaalia. Tarkkailumikrofoni sijaitsee siinä pisteessä, missä vaimennuksella on käytännössä merkitystä, esimerkiksi kuuntelupaikassa tai käyttäjän paikalla. Hyvä tapa saada selville syntyvä vaimennus on mitata äänitehoa esimerkiksi intensiteettimenetelmällä. [1, 2]



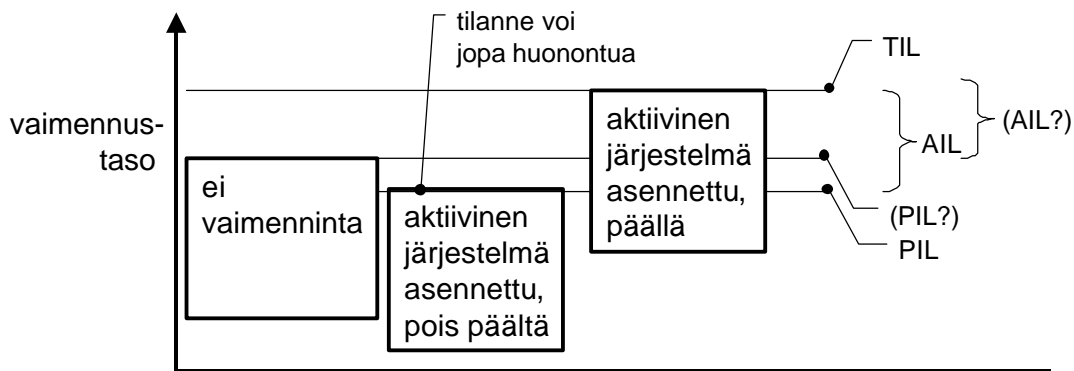
Kuva 1. Aktiivisesti vaimennettu järjestelmä, kaaviokuva.

4. IL, PIL, AIL JA TIL

Kun melulähteeseen kohdistetaan meluntorjuntakeino, niin äänitehotason tai äänenpainetason muutosta meluntorjuntakeinon kanssa tai ilman kutsutaan lisäysvaimennukseksi (IL, Insertion Loss). [3, 4] Kun käytetään vain perinteisiä, passiivisia menetelmiä, niin termin merkitys on kohtalaisen selvä. Kuitenkin, jos käytetään aktiivisia melunvaimennusmenetelmiä, niin tarvitaan lisää määrittelyjä.

Järjestelmän, jossa on käytössä aktiivinen melunvaimennuslaitteisto, melunvaimennusominaisuuksia voidaan kuvata kolmella eri määreellä, jotka kaikki on johdettu lisäysvaimennuksesta [5]. Passiivinen lisäysvaimennus (PIL, Passive Insertion Loss) on periaatteessa sama kuin lisäysvaimennus normaalissa passiivisessa vaimenninjärjestelmässä. Aktiivitapauksessa se tarkoittaa tilannetta, kun aktiivijärjestelmä on asennettu ja valmiina käyttöön, mutta ei ole kytketty vielä päälle.

Tilannetta sekoittaa hieman se, että aktiivijärjestelmä voi aiheuttaa passiivisesti toimiessaan vaimennustason heikkenemisen verrattuna tilanteeseen ilman asennettua aktiivijärjestelmää. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi asennettaessa virtaukselliseen kanavaan vaimenninjärjestelmä, joka aiheuttaa lisääntyneen virtausvastuksen takia lisää melua.



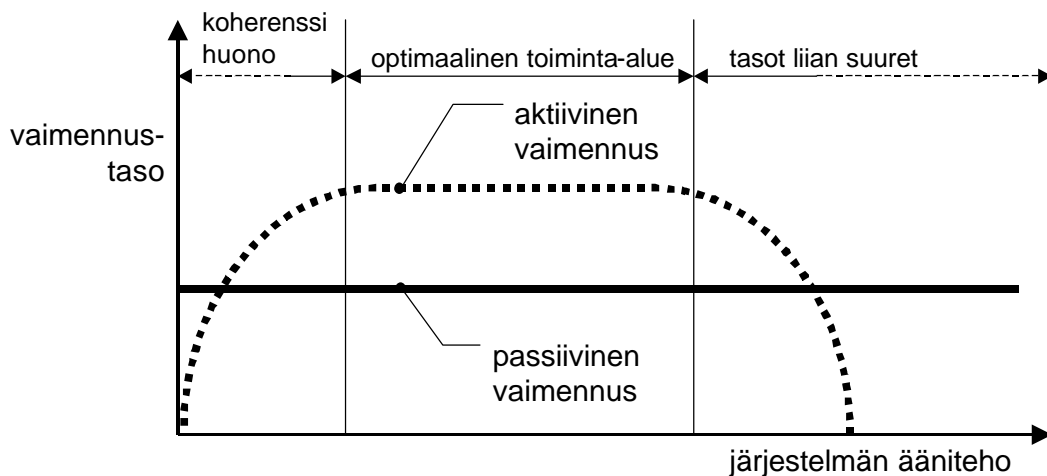
Kuva 2. PIL, AIL ja TIL.

Kun aktiivinen järjestelmä kytketään päälle, saadaan aikaan tilanne, jossa on sekä aktiivista että passiivista vaimennusta (Kuva 2). Tätä kokonaisvaimennusta voidaan kuvata kokonaislisäysvaimennuksella (TIL, Total Insertion Loss), jossa on otettu sekä passiivinen että aktiivinen vaimennus huomioon.

Kokonaislisäysvaimennuksen ja passiivisen lisäysvaimennuksen ero on aktiivinen lisäysvaimennus (AIL, Active Insertion Loss). Sen määrittelyssä on ongelma se, otetaanko vertailukohteeksi passiiviselle lisäysvaimennukselle tilanne ilman vaimenninta vai aktiivisen järjestelmän ollessa jo asennettuna. Tämä täytyy ratkaista tilanteen mukaan.

5. AKTIIVISEN MELUNVAIMENNUSJÄRJESTELMÄN TOIMINTA-ALUEET

Toisin kuin passiivinen melunvaimennusjärjestelmä aktiivisen järjestelmän toiminta on riippuvainen melulähteen tuottaman äänen tasosta. Pienillä tasoilla kohina ja muut häiriöt peittävät halutun signaalin eikä vastaääntä pystytä muodostamaan, koska mitatun signaalin vastaavuus haluttuun signaaliin jää liian pieneksi. Suurilla äänenpainetasoilla eivät vastaääntä tuottavat kaiuttimet tai muut aktuaattorit pysty enää toimimaan lineaarisella alueellaan, vaan ääni säröytyy ja aktiivijärjestelmän suorituskyky laskee nopeasti (Kuva 3). Tähän väliin jää alue, jossa aktiivisen järjestelmän suorituskyky on optimaalinen. Tämä alue on varsinainen aktiivivaimennuksen toiminta-alue.



Kuva 3. Aktiivisen melunvaimennusjärjestelmän toiminta-alueet.

6. VAIMENNUSTULOSTEN ESITTÄMINEN

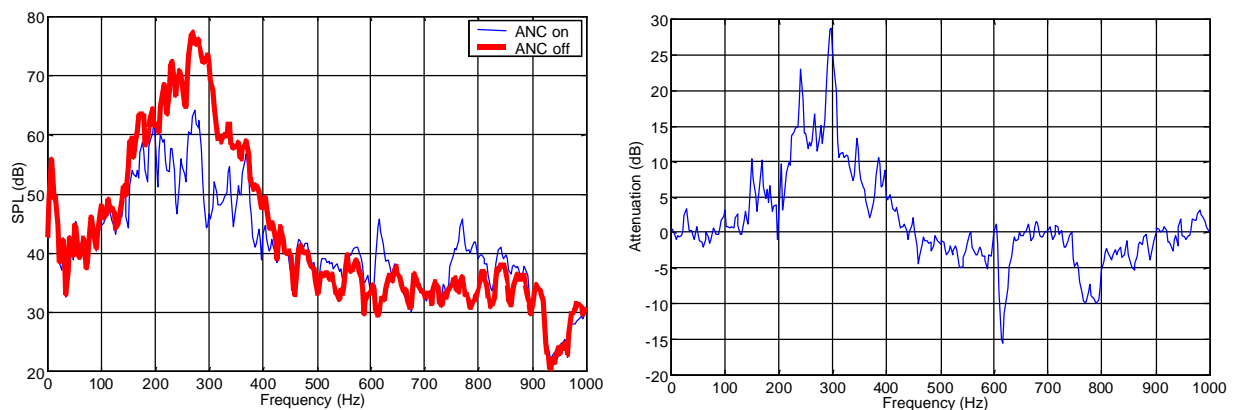
Kun esitetään aktiivijärjestelmän vaimennustuloksia, ne ovat usein harhaanjohtavia. Tämän vuoksi on erityinen tarkkuus tarpeen ja aktiivivaimennuksen erilainen toiminta passiiviseen vaimennuksen verrattuna tulee ottaa riittävässä määrin huomioon.

Vaimennuksen äänenpaineriippuvuus vaikeuttaa järjestelmien vertailua varsinkin, kun tuloksissa ilmoitetaan pelkästään suhteellinen vaimennus. Tulokset saatetaan myös esittää sellaisella taajuuskaistalla, että vaimentuneet taajuudet ovat nähtävissä mutta äänenpaineen mahdollinen vahvistuminen toisella taajuusalueella rajautuu esitettävän kaistan ulkopuolelle.

Eräs tyypillisimmistä tapauksista on mitata järjestelmän vaimennus erillisillä pistetaajuuksilla, ja sitten koota tulokset yhteen kuvaan. Kiusaus tähän on suuri, koska järjestelmä saadaan toimimaan varsin yleisesti yksittäisillä pistetaajuuksilla. Jos mittaustuloksia esitetään tällä tavalla, olisi syytä käyttää laajakaistaista herätettä, tai sitten esittää pistetaajuuksittain mitatut tulokset selkeästi erillisinä.

Kehitysvaiheessa olevien ANC-järjestelmien testauksessa tarvitaan nopeasti saatavilla olevia mittaustuloksia. Siksi järjestelmien toimintaa arvioidaan tarkkailemalla äänenpainetta yhdessä kuuntelutilan pisteessä tai jopa virhemikrofonilla, jonka mittaamaa signaalia säätöjärjestelmä minimoi. Vaimennusjärjestelmän valmistuttua ei kattavia, huolellisesti suunniteltuja evaluointimittauksia useinkaan tehdä, vaan yleisesti esitellään kehitysvaiheessa saatuja tuloksia. Monissa aktiivivaimennuslaitteistoissa vaimennus on varsin merkittävä virhesensorilla, mutta tarkkailupisteen vaimennus voi jäädä vaatimattomaksi. Lisäksi yhden kuuntelutilan pisteen valitseminen evaluointiin on enemmän tai vähemmän arveluttavaa.

Koska aktiivijärjestelmän toiminta riippuu melusignaalin tasosta, niin tuloksia esitettäessä olisi suositeltavaa kertoa vähintään kaksi tietoa: suhteellinen vaimennus ja absoluuttiset äänenpainet tai -tehot. Yksi tapa esittää tämä on kuvassa (Kuva 4). Vasen puoli kuvasta esittää todelliset äänenpainetasot järjestelmän ollessa päällä ja poissa käytöstä ja oikea puoli suhteellisen vaimennuksen (AIL). Tällöin vasemmasta kuvasta on helppo arvioida todellinen toiminta-alue järjestelmälle ja oikeasta kuvasta nähdään taas helposti järjestelmän suorituskyky.



Kuva 4. Esimerkki vaimennustulosten esittämisestä. Vasemmalla todelliset äänenpainetasot, oikealla suhteellinen vaimennus.

7. AKTIIVIVAIMENNUKSEN TOIMINNAN PUUTTEET JA SUDENKUOPAT

Usein aktiivisen vaimentimen säätöjärjestelmä toimii myötäkytettynä. Se tarkoittaa sitä, että säädin saa etukäteistietoa vaimennettavasta signaalista, ja sillä on aikaa käsitellä kyseistä signaalia voidakseen muodostaa vastaäänen oikein. Tätä etukäteistietoa kutsutaan referenssisignaalksi. Kun käytetään testioloissa melulähteenä esimerkiksi kaiutinta, on paras mahdollinen referenssisignaali useimmiten melulähteelle menevä sähköinen signaali. Näin vaimennustulokset muodostuvat hyviksi. Käytännössä kuitenkin tällainen tieto alkuperäisestä melusta on harvinainen, ja referenssisignaalin mittaamiseen käytetään esimerkiksi mikrofoneja. Tämä tietysti vaikuttaa yleensä vaimennustuloksiin huonontavasti.

Toinen tyypillinen ilmiö säätöjärjestelmissä on vahvistus joillakin taajuuksilla. Usein varsinainen säätömenetelmä on optimoitu aiheuttamaan maksimivaimennus halutulle taajuuskaistalle, mutta samaan aikaan voi syntyä muilla taajuuksilla vahvistusta. Tämä voi johtua esimerkiksi toisilähteen tuottaman äänen säröytymisestä tai itse säätöperiaatteesta. Etenkin takaisinkytketty säätö aiheuttaa väistämättä joidenkin taajuuksien vahvistumista. Se, että häiritseekö tämä vahvistus tai onko se merkittävää täytyy arvioida tapauskohtaisesti, mutta sen arvioimiseksi tulee aktiivijärjestelmien toiminta esittää riittävän laajalla taajuusalueella.

8. NORDTEST-MENETELMÄEHDOTUS

Suurin osa havaituista ongelmista ratkaisuehdotuksineen on koottu Nordtest-menetelmäehdotukseen. Menetelmäehdotus syntyi lopputuloksena VTT:n koordinoimassa Nordtest-hankkeessa [6]. Ehdotus on käytännössä alustava mittaamenetelmä aktiivisen äänenhallinnan ilmanvaihto- ja ääneneristyssovelluksiin. Menetelmässä annetaan yleisiä ohjeita aktiivisen äänenhallinnan järjestelmien toiminnan mittaamiseksi ja tulosten ilmoittamiseksi, joten sitä voi käyttää myös näiden sovelluskohteiden ulkopuolella.

NORDTEST-menetelmäehdotuksessa esitetään, että esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmissä mitattuja tuloksia esiteltäessä esitettäisiin mittaus- ja laitteistotietojen lisäksi ainakin järjestelmän lohkoavaio, kanavan mitat ja materiaali, melulähteen tuottaman äänen ja referenssisignaalin spektrit, kuvaus testausympäristöstä ja tulokset. Tuloksista tärkeimmät ovat aktiivinen lisäsvaimennus (AIL), painottoman äänenpainespektri mitattuna tarkkailumikrofonilla järjestelmän ollessa päällä ja pois tarpeeksi laajalla taajuusalueella, vaimennus ilmavirtauksen funktiona. Jos vaimennusjärjestelmässä on käytetty sähköistä referenssiä, se tulee ilmoittaa; myöskin kuvien yhteydessä. Tällä tavoin ainakin järjestelmien vähimmäistiedot olisivat saatavilla. Eri vaimennusjärjestelmiä voitaisiin myös helpommin verrata keskenään. Vastaavat tulosvaatimukset voidaan esittää muunkin tyyppisistä järjestelmistä, kuten esimerkiksi aktiivisista ääneneristysjärjestelmistä.

Kun järjestelmien arviointia edelleen kehitetään, on aktiivisissa järjestelmissä vielä ominaisuuksia, joita voisi ottaa paremmin huomioon. Eräs sellainen on aktiivisen järjestelmän toiminta äkillisissä muutostilanteissa ja yleisesti aikatason käyttäytyminen. Toisin kuin passiivisessa vaimentimissa, aktiivisessa järjestelmässä vaimennuksen ajalliset muutokset voivat olla suuria. Kun melun luonne muuttuu, ei aktiivivaimennin aina pysty heti seuraamaan perässä. Lisäksi erilaiset häiriösignaalit saattavat aiheuttaa muutoksia vaimennuksessa.

9. YHTEENVETO

Aktiivisen melunvaimennuksen järjestelmät tuovat lisähaasteita melunvaimennuksen toiminnan objektiiviseen arviointiin ja kuvaamiseen. Erityisiä ongelma-alueita ovat luotettava ja toistettava toiminnan mittaaminen sekä tulosten esittäminen. Esitetty Nordtest-menetelmä on askel kohti standardoitua esitystapaa. Sen laajempi käyttöönotto helpottaisi aktiivisen äänenhallinnan järjestelmien toiminnan arviointia ja eri järjestelmien vertailua. Sen avulla tulokset voidaan esittää yhtenäisellä ja selkeällä tavalla. Siirryttäessä laboratorioasteelta todelliseen kaupalliseen hyötykäyttöön tulee aktiivisen äänenhallinnan järjestelmien puolueeton ja yhtenäinen arviointi todella tärkeäksi. Silloin ei enää riitä, että toimintaa arvioidaan vain kulloinkin kiinnostavista tutkimuksellisista lähtökohdista.

LÄHTEET

- 1 ISO 9614-2:1996(E) Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity - Part 2: Measurement by scanning.
- 2 V. Hongisto, "Airborne Sound Insulation of Wall Structures – Measurement and Prediction Methods", väitöskirja, Teknillinen korkeakoulu, 2000.
- 3 Akustiikan sanasto, MET, 2001.
- 4 ISO 7235:1991 Acoustics - Measurement procedures for ducted silencers - Insertion loss, flow noise and total pressure loss.
- 5 G. Clark Smith, Robert L. Clark, " Technical note: Performance measures for active control; passive insertion loss (PIL), active insertion loss (AIL), and total insertion loss (TIL)". Noise Control Engineering Journal, Volume 48, Number 2, 2000.
- 6 "Preliminary Test Method For ANC Systems", Nordtest-projekti 1517-00, loppuraportti, 2001.

AIHEESEEN LIITTYVIÄ STANDARDEJA

- 1 ISO 140-1:1990(E) Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Requirements for laboratory test facilities with suppressed flanking transmission.
- 2 ISO 140-3:1995(E) Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements.
- 3 ISO 15186-1:2000 Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity - Part 1: Laboratory measurements.