

KOKEILU HÄIRITSEVYYDEN RAJOITTAMISEKSI AVOIMESSA OPPIMISYMPÄRISTÖSSÄ

Joose Takala, Jussi Rauhala, Jesse Lietzén ja Mikko Kylliäinen

A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Puutarhakatu 10
33210 TAMPERE
etunimi.sukunimi@ains.fi

Tiivistelmä

Peruskorjaushankkeen ajaksi yläkoulu siirtyi vuodeksi väistötilaan, joka alkujaan oli rakennettu liikehalliksi. Väistötilassa toteutettiin vaiheittain kokeilu, jolla selvitettiin erilaisten akustisten ratkaisujen toimivuutta äänen leviämisen rajoittamiseksi ja puheesta aiheutuvan häiritsevyyden vähentämiseksi. Keinoina olivat tilanjakajina toimivat verhot ja kalusteet, absorption lisäys tilan kattoon sekä peiteäänijärjestelmä. Tilassa tehtiin häiritsevyyden- ja yksityisyysasteen sekä leviämismittauksien mittauksia standardin ISO 3382-3 mukaisesti. Tulokset osoittavat, että avoimissa oppimisympäristöissä on käytettävä samanlaisia akustisia ratkaisuja kuin avotoimistoissa. Ilman tilanjakajia ja sopivasti valittua peiteäänien tasoa ei ole mahdollista saavuttaa riittävää leviämismittauksien ja yksityisyyttä. Lisäksi tilasuunnitteluun ja oppimisympäristön monimuotoisuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

1 JOHDANTO

Peruskorjaushankkeen ajaksi yläkoulu siirtyi vuodeksi väistötilaan, joka alkujaan oli rakennettu liikehalliksi. Väistötilassa toteutettiin vaiheittain kokeilu, jolla selvitettiin erilaisten akustisten ratkaisujen toimivuutta äänen leviämisen rajoittamiseksi ja puheesta aiheutuvan häiritsevyyden vähentämiseksi.

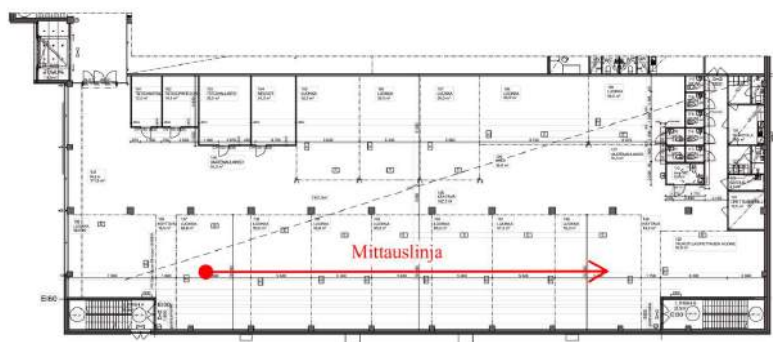
Akustiikkapäivillä esiteltävän tutkimushankkeen [1] tulosten perusteella tiedettiin, että äänen leviämistä voidaan rajoittaa ja puheesta aiheutuvaa häiritsevyyttä vähentää käyttämällä tilanjakajia, kuten verhoja ja kalusteita sekä peiteäänintä. Peruslähtökohta on lisäksi se, että tilassa tulee olla suuri absorptioala eli ääntä vaimentavana pintana vähintään koko katto. Nämä ratkaisut toteutettiin vaiheittain. Huoneakustisella tietokonemallinnuksella varmistettiin ensin, mitä ratkaisuja tilassa kannattaa tehdä ja mitkä ratkaisut vaikuttavat tehokkaimmin ääniolosuhteisiin.

Ratkaisuvalintojen käytännön vaikutusten selvittämiseksi väistötilassa tehtiin akustisia mittauksia kolmessa vaiheessa: lähtötilanteessa, absorptioalan lisäämisen jälkeen ja peiteäänijärjestelmän lisäämisen jälkeen. Tämän artikkelin tarkoituksena on esittää akustisten mittausten tulokset sekä niiden perusteella huomioita avointen oppimisympäristöjen suunnitteluratkaisusta.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

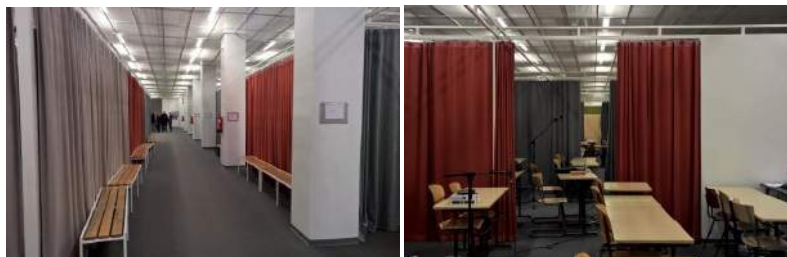
2.1 Koulun väistötila

Väistötila on entinen liikehalli, jonka huonekorkeus on 5 m ja pinta-ala 1300 m² (kuva 1). Tilaan on järjestetty 13 verhoilla erotettua opetustilaa. Keskellä tilaa on käytävä, jonka molemmin puolin opetustilat sijaitsevat.



Kuva 1. Tilan pohjakaavio, jossa näkyy 13 verhoilla erotettua opetustilaa. Huoneakustisten mittausten mittauslinja on esitetty nuolella.

Lähtötilanteessa absorboivina pintoina olivat verhot ja tilan lattiassa eteisaulaa lukuun ottamatta oleva tekstiilimatto. Tilan katossa oli paljas betonilaatta. Joillakin verhoilla erotetuilla alueilla oli opettajan päädyssä lyhyet kipsilevyseinät, joista alueita erottavat verhot alkavat (kuva 2). Kipsilevyseinät ja verhot eivät ulotu kattoon asti, vaan niiden korkeus on 2,5 m.

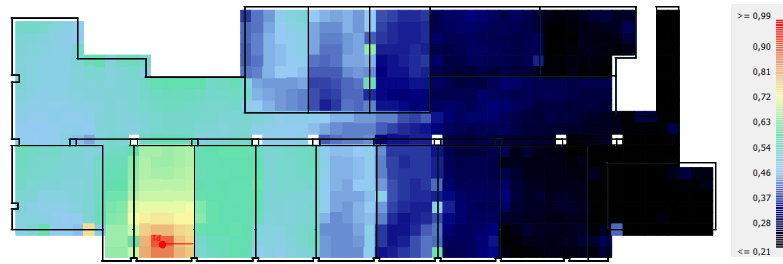


Kuva 2. Valokuvia väistötilasta. Vasemmalla on yleiskuva tilasta käytävän puolelta ja oikealla nähdään tiloja erottava verho sekä opettajan päädyssä oleva lyhyt kipsilevyseinäosuus.

2.2 Huoneakustinen tietokonemallinnus

Huoneakustisella tietokonemallinnuksella tutkittiin lukuisia vaihtoehtoja, joilla voitaisiin vaikuttaa väistötilan akustisiin olosuhteisiin. Näistä valittiin toteutettaviksi keinot, jotka mallinnuksen perusteella osoittautuivat tehokkaimmiksi. Kuvassa 3 on esitetty huo-

neakustisella mallinnuksella saatu tulos puheensiirtoindeksin STI arvosta tilassa lähtötalanteessa.



Kuva 3. Esimerkki tietokonemallinnuksesta: puheensiirtoindeksin STI arvo tutkitussa väistötilassa.

Tutkimuksessa [1] on osoitettu, että avoimissa oppimisympäristöissä on kiinnitettävä huomiota samoihin seikkoihin kuin avotoimistojen suunnittelussa. Siten huoneakustisella tietokonemallinnuksella laskettiin standardin ISO 3382-3 mukaiset parametrit eli leviämismuunnos $D_{2,S}$, häiritsevyysäide r_D ja yksityisyysäide r_P .

2.3 Mittaukset

Standardissa ISO 3382-3 [2] kuvattu mittausmenetelmä perustuu akustisten tunnuslukujen mittaamiseen eri etäisyyksillä äänilähteistä. Leviämismuunnos $D_{2,S}$ [dB] lasketaan äänilähteestä tietyn mittauslinjan matkalla mitattujen puheen äänitasojen $L_{p,A,S}$ perusteella. Häiritsevyysäide r_D ja yksityisyysäide r_P määritetään mittaamalla puheensiirtoindeksin STI arvoa eri etäisyyksillä äänilähteestä. Puheensiirtoindeksin laskentaa varten mitattiin taustäänitaso $L_{p,A,B}$. Lisäksi mitattiin tilan jälkikaiunta-aika standardin ISO 3382-2 [3] mukaisesti.

Väistötilan huoneakustiset mittaukset tehtiin kuvan 1 osoittamalla mittauslinjalla kolmessa vaiheessa, joissa tilaan oli tehty seuraavia akustisia ratkaisuja:

- mittausta 1: lähtötilanne (kuvattu edellä)
- mittausta 2: tilaan lisätty kattoon noin 80 % alalle akustiikkamineraalivilla sekä joi-takin kalusteita tiloja rajaavien verhojen viereen
- mittausta 3: tilaan lisätty mittauksen 2 ratkaisujen lisäksi peiteäänijärjestelmä

Leviämismuunnoksen ja häiritsevyysäiteiden lisäksi haluttiin selvittää toiminnan aikainen keskiäänitaso $L_{A,eq}$ tilassa silloin, kun opetus on käynnissä. Äänilähteinä näiden mit-tausten aikana olivat siten opettajat, oppilaat ja rakennuksen LVIS-järjestelmät sekä mit-tauksessa 3 myös peiteääni.

3 TULOKSET

3.1 Huoneakustinen tietokonemallinnus

Mallinnuksella voitiin osoittaa, että tehokkaimmat keinot ääniolosuhteisiin vaikutta-miseksi väistötilassa ovat absorptioalan lisääminen siten, että tehokkaasti absorboivaa

materiaalia asennetaan kattoon, sekä peiteääni, joka tuotetaan peiteäänijärjestelmällä. Nämä ratkaisut tilaan myös toteutettiin.

3.2 Jälkikaiunta-aika ja taustäänitaso

Väistötilassa mitatut jälkikaiunta-ajat T_{20} on esitetty taulukossa 1 lähtötilanteessa sekä lopputilanteessa. Lähtötilanteessa absorboivina pintoina olivat lähinnä tilanjakajina toimivat verhot ja tekstiilimatto. Lopputilanteessa absorptioalaa oli lisätty niin, että koko katon alalla oli akustiikkamineraalivilla. Taulukossa 2 on esitetty mitatut taustäänitasot, joiden äänilähteenä ovat rakennuksen LVIS-järjestelmä ja mittauksessa 3 sen lisäksi peiteäänijärjestelmä.

Taulukko 1. Väistötilassa mitatut jälkikaiunta-ajat T_{20} . Koulussa 2 mitatut kaksi oppimisympäristöä on merkitty numeroin 2.1 ja 2.2.

| Tila | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz | 4000 Hz |
|-------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Mittaus 1 | 1,8 s | 1,7 s | 1,3 s | 1,0 s | 1,0 s | 0,7 s |
| Mittaus 2/3 | 1,4 s | 1,0 s | 0,7 s | 0,6 s | 0,5 s | 0,4 s |

Taulukko 2. Väistötilassa mitatut taustäänitasot.

| Tila | Äänilähde | Taustäänitaso $L_{p,A,B}$ |
|-----------|--------------------------------|---------------------------|
| Mittaus 1 | LVIS-järjestelmät | 35 dB |
| Mittaus 2 | LVIS-järjestelmät | 29 dB |
| Mittaus 3 | LVIS-järjestelmät ja peiteääni | 46 dB |

3.2 Leviämismuunnos, häiritsevyysäde ja yksityisyysäde

Taulukossa 3 on esitetty leviämismuunnoksen, häiritsevyysäteen ja yksityisyysäteen mittaus tulokset mittauslinjalla. Mittauksessa 3 puheensirtoindeksin arvo laski niin nopeasti, että häiritsevyysädetä ei voitu määrittää. Kuvassa 4 on lisäksi esitetty puheen äänitason $L_{p,A,S}$ ja puheensirtoindeksin STI arvojen muutokset eri mittaus tilanteissa.

Taulukko 3. Eri mittaus tilanteissa mitatut leviämismuunnoksen, häiritsevyysäteen ja yksityisyysäteen tulokset.

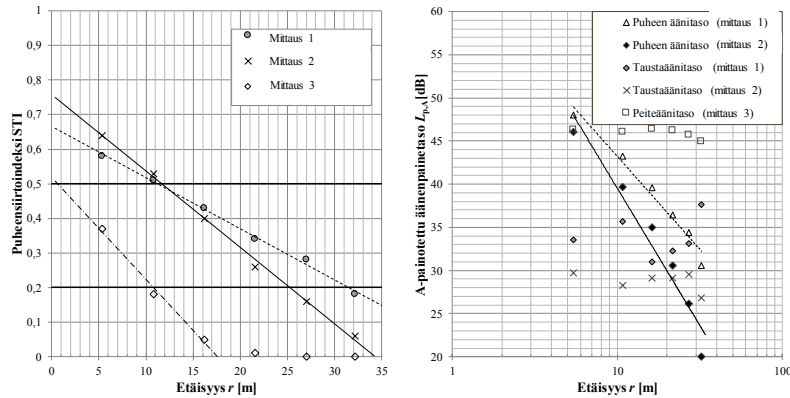
| Mittaus | $D_{2,s}$ | r_D | r_P |
|-----------|-----------|--------|--------|
| Mittaus 2 | 5,3 dB | 11,2 m | 31,6 m |
| Mittaus 2 | 6,9 dB | 11,7 m | 25,3 m |
| Mittaus 3 | 6,9 dB | – | 11,4 m |

3.3 Äänitaso opetuksen aikana

Taulukossa 4 on esitetty toiminnan aikaisten äänitasomittausten tulokset eri mittaus tilanteissa, kun äänilähteenä olivat LVIS-järjestelmät, oppilaat ja opetus sekä mittauksessa 3 myös peiteäänijärjestelmä.

Taulukko 4. Väistötilassa mitatut äänitasot opetuksen aikana.

| Tila | Äänilähde | Keskiaänitaso $L_{A,eq}$ |
|-----------|--|--------------------------|
| Mittaus 1 | LVIS-järjestelmät, opetus, oppilaat | 61 dB |
| Mittaus 2 | LVIS-järjestelmät, opetus, oppilaat | 55 dB |
| Mittaus 3 | LVIS-järjestelmät ja peiteääni, opetus, oppilaat | 55 dB |



Kuva 4. Puheensirtoindeksin STI (vas.) ja puheen äänitason (oik.) arvo etäisyyden suhteen eri mittaustilanteissa. Lisäksi on esitetty taustäänitaso eri mittaustilanteissa.

4 TULOSTEN TARKASTELU

Lähtötilanteessa jälkikaiunta-ajan mittaustulokset eivät täyttäneet luokkahuoneiden jälkikaiunta-ajasta annettuja ohjeita, joiden mukaan jälkikaiunta-ajan tulisi luokkahuoneissa olla $0,6 \dots 0,9$ s [4–5]. Taulukon 1 tuloksista nähdään, että mineraalivillan lisäys kattopintaan laskee tilan jälkikaiunta-aikaa taajuuksilla 250–8000 Hz noin puoleen lähtötilanteeseen verrattuna. Suurilla taajuuksilla jälkikaiunta-aika vastasi luokkahuoneita koskevia ohjeita, mutta suuren huonekorkeuden vuoksi pienimmillä taajuuksilla jälkikaiunta-aika jäi pitkähköksi. Tutkittu tila on luokiteltavissa avoimeksi oppimisympäristöksi, jossa jälkikaiunta-ajan tulisi olla ulkomaisten ohjeiden mukaan selvästi lyhyempi kuin luokkahuoneissa [6]. Lopputilanteessa jälkikaiunta-aika olikin pääosin suositellulla tasolla.

Akustiikkamineraalivillan lisääminen johdosta, verhoihin rajattujen tilojen välillä oli yksi äänen heijastuspinta vähemmän. Tämä nähdään mittauksissa leviämismuunnoksen $D_{2,S}$ kasvamisena (taulukko 3). Leviämismuunnos kasvoi mittauslinjalla arvosta 5,3 dB arvoon 6,9 dB. Mittaustuloksen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että pelkästään verhojen käyttäminen tilanjakajina ei ole tehokkain tapa leviämismuunnoksen kasvattamiseksi. Käytettäessä seinäkkeitä ja kalusteita, joilla on jonkin verran ääneneristyskykyä, saadaan jonkin verran suurempia leviämismuunnosarvoja [1]. Tähän voidaan vaikuttaa myös tilasuunnittelun keinoin.

Verrattaessa puheensirtoindeksin STI mittaustuloksia lopputilanteessa peiteäänän kanssa (mittaus 3) ja ilman (mittaus 2) havaitaan, että yksityisyssä laskee 25,3 metristä 11,4 metriin. Peiteäänän äänitaso $L_{p,A,B}$ oli 46 dB eli 6 dB suurempi kuin lähteessä [1] esitetyssä tutkimuksessa. Mittauksessa 3 puheensirtoindeksin arvo lähietäisyyksillä oli varsin vaatimaton, mikä tarkoittaa sitä, että se oli turhankin suuri. Tutkimustietoa ei ole siitä, mikä olisi sopiva peiteäänän äänitaso avoimiin oppimisympäristöihin, mutta tämän tuloksen ja lähteen [1] perusteella se voisi asettua noin 40 dB tasolle. Joka tapauksessa voidaan todeta, että peiteäänän vaikutus avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteisiin on suuri.

Tulokset vahvistavat lähteessä [1] saatuja tuloksia, joiden mukaan jälkikaiunta-aika ei ole riittävä kriteeri avointen oppimisympäristöjen akustiikalle. Vaikka jälkikaiunta-aika lopputilanteessa vastasi suosituksia, ilman peiteääntä häiritsevyys- ja yksityisyssäteiden arvot ovat liian suuret. Siten avointen oppimisympäristöjen suunnittelun tulisi perustua puheenerotettavuuden ja äänen leviämisen rajoittamiseen.

Mitatut keskiäänitasot opetuksen aikana eri mittaustilanteissa olivat 55–61 dB (taulukko 4). Nämä arvot ovat samaa suuruusluokkaa kuin avoimissa oppimisympäristöissä on mitattu muualla [7]. Absorptioalan lisääminen eli akustiikkamineraalivillan lisääminen kattoon alensi opetuksen aikaista äänitasoa 6 dB. Tämä vastaa kirjallisuudessa esitettyjä tuloksia [7]. Taulukon 4 tulosten perusteella voidaan myös todeta, että peiteääni ei lisää opetuksen aikaista äänitasoa, vaan äänitaso säilyi samana mittauksissa 2 ja 3.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että tilanne on äänen häiritsevyyden kannalta parantunut, ja nykyisissä tiloissa voidaan opettaa siten, että oman opettajan opetukseen voi keskittyä häiriintymättä muiden luokkien tavallisesta toiminnasta, kun peiteääni on päällä. Myös väistötilan käyttäjät ovat kertoneet, että peiteääni on parantanut ääniolosuhteita tilassa.

5 YHTEENVETO

Tulokset osoittavat, että avoimissa oppimisympäristöissä on käytettävä samanlaisia akustisia ratkaisuja kuin avotoimistoissa. Ensimmäinen edellytys ääniolosuhteiden onnistumiselle on riittävän suuri absorptioala, mikä tarkoittaa vähintään koko katon alaa hyvin absorboivaa materiaalia. Ilman tilanjakajia ja sopivasti valittua peiteäänien tasoa ei ole mahdollista saavuttaa riittävää leviämismuunnusta ja yksityisyyttä. Lisäksi tilasuunnitteluun ja oppimisympäristön monimuotoisuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

VIIKTEET

- [1] Kylliäinen M & Pääkkönen R, Ääniolosuhteet avoimissa oppimisympäristöissä, Akustiikkapäivät 2017, Espoo, 24.-25.8., 2017.
- [2] ISO 3382-3, Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 3: Open plan offices, International Organization for Standardization, Genève, 2012.
- [3] ISO 3382-1, Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms, International Organization for Standardization, Genève, 2008.
- [4] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1: Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, ympäristöministeriö, Helsinki, 1998.
- [5] SFS 5907, Rakennusten akustinen luokitus, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, 2004.
- [6] Petersen C M & Rasmussen B, Acoustic design of open plan schools and comparison of requirements, Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting, Odense, June 18–20, 2012.
- [7] Shield B, Greenland E & Dockrell J, Noise in open plan classrooms in primary schools: A review, *Noise & Health* 12(2010), s. 225–234.