

# ÄÄNILOLOSUHTEET AVOIMISSA OPPIMISYMPÄRISTÖISSÄ

Mikko Kylliäinen ja Rauno Pääkkönen

A-Insinöörit Suunnittelu Oy  
Puutarhakatu 10  
33210 TAMPERE  
[etunimi.sukunimi@ains.fi](mailto:etunimi.sukunimi@ains.fi)

## Tiivistelmä

Uusien opetussuunnitelmien myötä avoimet oppimisympäristöt ovat Suomessa yleistymässä oppilaitosten rakennushankkeissa. Määräyksiä, ohjeita tai vakiintuneita käytäntöjä niiden suunnittelemiseksi ei ole toistaiseksi olemassa eikä niiden akustisista olosuhteista ole Suomessa juuri tehty tutkimusta. Tämän tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää tutkimuskirjallisuuden perusteella, mitkä akustiset ilmiöt avoimissa oppimisympäristöissä ovat keskeisiä. Tutkimuksen toisena tavoitteena oli selvittää huoneakustisin mittauksin, millaiset ovat ääniolosuhteet jo käyttöön otetuissa avoimissa oppimisympäristöissä. Tutkimuskirjallisuudessa keskeisenä akustisena ongelmana avoimissa oppimisympäristöissä pidetään opetusryhmien välisen yksityisyyden vähäisyyttä ja äänen leviämistä tilassa vapaasti eli vaatimatonta leviämismuunnosta. Syksyllä 2016 käyttöön otetuissa avoimissa oppimisympäristöissä tehdyt mittaukset osoittivat, että rakennuksen teknisten järjestelmien tuottama taustäänitaso on tavallisesti erittäin hiljainen. Suurimmat leviämismuunnoksen arvot mitattiin oppimisympäristössä, jossa oli eniten tilanjakajia. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että jälkikäivä-aika ei ole riittävä kriteeri avointen oppimisympäristöjen akustiikan suunnittelulle.

## 1 JOHDANTO

Uusien opetussuunnitelmien myötä avoimet oppimisympäristöt ovat Suomessa yleistymässä oppilaitosten uudis- ja korjausrakentamishankkeissa. Määräyksiä, ohjeita tai vakiintuneita käytäntöjä niiden suunnittelemiseksi ei ole toistaiseksi olemassa. Esimerkiksi Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1 vuodelta 1998 [1] ja standardi SFS 5907 rakennusten akustisesta luokituksesta vuodelta 2004 [2] eivät tunne avoimia oppimisympäristöjä. Suomessa ei ole tehty tutkimusta avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteista äänen leviämisen ja häiritsevyyden kannalta, joskin tutkimustarve on tunnustettu [3].

Tämän tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää tutkimuskirjallisuuden perusteella, mitkä akustiset ilmiöt avoimissa oppimisympäristöissä ovat keskeisiä. Avoimia oppimisympäristöjä on rakennettu ulkomailla laajemmin 1960-luvulta lähtien [4], ja varsin nopeasti samalla vuosikymmenellä alkoi kritiikki avoimia oppimisympäristöjä kohtaan. Vaikka opetusmenetelmät muuttuivat, avointen oppimisympäristöjen akustiikka suunniteltiin luokkahuoneita vastaavaksi. Tästä seurasi ensinnäkin se, että koulupäivän aikana melutasot avoimissa oppimisympäristöissä olivat suuria. Toinen seuraus oli se, että ääni pääsi leviämään esteettä koko tilaan, jolloin se häiritsi keskittymistä edellyttävää

työskentelyä. Tämä johtui siitä, että tiloissa oli liian pieni absorptioala ja niistä puuttuivat äänen leviämistä estävät tilanjakajat, kuten seinäkkeet ja riittävän korkeat kalusteet. [5–9]

Tutkimuksen toisena tavoitteena oli selvittää akustisin mittauksin, millaiset ääniolosuhteet suomalaisissa avoimissa oppimisympäristöissä on saatu aikaan. Mittauksia tehtiin kolmessa syksyllä 2016 käyttöön otetussa koulussa. Tutkimuskirjallisuudessa esitettyjen havaintojen perusteella akustiset ilmiöt ovat samanlaisia kuin avotoimistoissa, joissa pyritään rajoittamaan äänen leviämistä ja häiritsevyyttä suuren absorptioalan, seinäkkeiden ja peiteäänien avulla [10]. Koska avoimen oppimisympäristön akustiset ilmiöt ovat lähellä avotoimistoja, mittaukset tehtiin avotoimistojen akustiset mittaluvut ja niiden mittaussuunnitelmat määrittävän standardin ISO 3382-3 [11] mukaisesti. Tutkimuksen sisältö on laajemmin raportoitu lähteessä [12].

## 2 MENETELMÄT

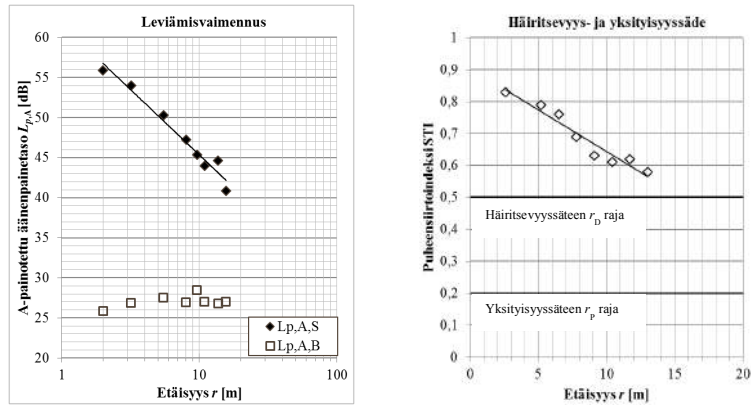
Akustiset mittaukset tehtiin kolmen koulun neljässä avoimessa oppimisympäristössä. Koulussa 2 mittauksia tehtiin kahdessa oppimisympäristössä, joista toinen (tila 2.1) avautui yhdeltä sivultaan koulun ruokalaan. Mittauksia tehtäessä koulujen käyttöönotosta oli kulunut muutama kuukausi, joten mittausten aikana kaikki irtokalusteet olivat paikallaan. Tutkittujen avointen oppimisympäristöjen pinta-alat olivat 177–230 m<sup>2</sup> ja huonekorkeudet 2,8–3,1 m. Tiloissa on noin 50–70 koululaista ja 2–5 opettajaa. Kirjoittajat tai heidän taustaorganisaationsa eivät olleet osallistuneet tutkittujen koulujen rakennushankkeisiin. Yhdessä kolmesta tutkitusta koulusta oli käytetty akustiikkasuunnittelijaa.

Yhdessä kouluista (koulu 1) koko lattia oli pinnoitettu tekstiilimatolla. Koulussa 2 lattianpäällysteenä oli muovimatto, koulussa 3 pääosalla lattia-alasta muovimatto ja pienellä osalla lattiasta tekstiilimatto. Koulussa 1 oli eniten tilaa jakavia elementtejä, kuten kalusteita ja verhoja. Koulussa 2 tilanjakajia ei ollut käytännössä lainkaan ja koulussa 3 niitä oli jonkin verran. Kaikissa tiloissa koko katon alalla oli tehokkaasti absorboivaa pinta.

Standardissa ISO 3382-3 [11] kuvattu mittaussuunnitelma perustuu akustisten tunnuslukujen mittaamiseen eri etäisyyksillä äänilähteistä. Leviämismuunnos  $D_{2,S}$  [dB] lasketaan äänilähteestä tietyn mittaussuunnitelman matkalla mitattujen puheen äänitasojen  $L_{p,A,S}$  perusteella. Häiritsevyyssäte  $r_D$  ja yksityisyysäte  $r_p$  määritetään mittaamalla puheensirtoindeksin STI arvoa eri etäisyyksillä äänilähteestä. Häiritsevyyssäte vastaa etäisyyttä, jolla puheensirtoindeksin arvo on 0,5 ja yksityisyysätteen etäisyydellä puheensirtoindeksin arvo on 0,2. Puheensirtoindeksin laskentaa varten mitattiin taustäänitaso  $L_{p,A,B}$ . Lisäksi mitattiin tilan jälkikaiunta-aika standardin ISO 3382-2 [13] mukaisesti.

Kuvassa 1 on esitetty esimerkki leviämismuunnoksen  $D_{2,S}$  sekä häiritsevyyssätteen  $r_D$  ja yksityisyysätteen  $r_p$  mittaustuloksista. Kuvasta nähdään, että häiritsevyyssätteen ja yksityisyysätteen rajana olevia puheensirtoindeksin STI arvoja 0,5 ja 0,2 ei tässä tilanteessa ole mittaussuunnitelman saavutettu. Tässä ja vastaavissa tilanteissa säteiden arvot on laskettu ekstrapoloimalla, jotta on saatu muihin mitattuihin avoimiin oppimisympäristöihin tai mittaussuunnitelmiin nähden vertailukelpoinen tulos.

Peiteäänien käyttöä avoimissa oppimisympäristöissä on ehdotettu jo 1970-luvulla [14]. Tarkoituksena on tällöin rajoittaa etäisyyttä, jolla puhe on hyvin erotettavissa ja vähentää siten sen häiritsevyyttä. Peiteäänien vaikutusta häiritsevyyssäteiden ja yksityisyysätteen arvoon tutkituissa avoimissa oppimisympäristöissä testattiin laskemalla puheensirtoindeksien STI arvot myös laskennallisella peiteäänitasolla 40 dB [15].



Kuva 1. Esimerkki leviämismuunnoksen  $D_{2,S}$  sekä häiritsevyyssäteen  $r_D$  ja yksityisyssäteen  $r_P$  määrittämisestä avoimessa oppimisympäristössä.

### 3 TULOKSET

#### 3.1 Jälkikaiunta-aika ja taustäänitasot

Tutkituissa avoimissa oppimisympäristöissä mitatut jälkikaiunta-ajat  $T_{20}$  on esitetty taulukossa 1 ja mitatut taustäänitasot taulukossa 2. Koulun 2 avoin oppimisympäristö 1 avautui ruokalaan, minkä johdosta siinä oli muita oppimisympäristöjä jonkin verran suurempi taustäänitaso.

Taulukko 1. Avoimissa oppimisympäristöissä 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
Koulu 1	0,4 s	0,4 s	0,3 s	0,3 s	0,4 s	0,4 s
Koulu 2.1	0,5 s	0,5 s	0,4 s	0,5 s	0,6 s	0,7 s
Koulu 2.2	0,5 s	0,4 s	0,4 s	0,5 s	0,6 s	0,6 s
Koulu 3	0,5 s	0,5 s	0,4 s	0,4 s	0,5 s	0,5 s

Taulukko 2. Avoimissa oppimisympäristöissä mitatut taustäänitasot.

Tila	Taustäänitaso $L_{p,A,B}$
Koulu 1	25–34 dB
Koulu 2.1	34–40 dB
Koulu 2.2	24–30 dB
Koulu 3	24–32 dB

#### 3.2 Leviämismuunnos, häiritsevyyssäteet ja puheensirtoindeksi

Kussakin avoimessa oppimisympäristössä mitattiin leviämismuunnos ja häiritsevyyssäteet tilan koosta ja muodosta riippuen 3–5 mittauslinjalla. Koulussa 1 keskellä oppimisympäristöä on pyöreä ala, joka voidaan sulkea verhoihin. Leviämismuunnos ja häiritsevyyssäteet ja yksityisyssäteet mitattiin tässä tilassa niin, että pyöreän alan verhot olivat auki ja kiinni.

Taulukossa 3 on esitetty mittaustulokset pisimmillä mittauslinjoilla. Taulukossa on lisäksi esitetty häiritsevyys- ja yksityisyysäiteiden arvot, kun taustäänänenä on käytetty laskennallista peiteäänitasa 40 dB. Taulukossa 4 on esitetty häiritsevyys- ja yksityisyysäiteiden muutos, kun taustäänitasa  $L_{p,A,B}$  vaihdetaan mitatusta laskennalliseen peiteäänitasaan. Tila 2.1 oli yhteydessä koulun ruokalaan, jolloin siellä taustäänitasa oli suurin ja muutos siten pienin.

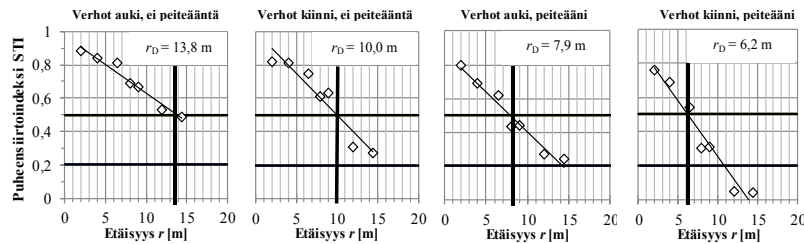
Taulukko 3. Avointen oppimisympäristöjen pisimmillä mittauslinjoilla mitatut tulokset, kun taustäänitasona on kussakin mittauspisteessä mitattu taustäänitasa (taulukko 2) tai laskennallinen peiteäänitasa 40 dB.

Tila	$D_{2,S}$	Mitattu $L_{p,A,B}$ (taulukko 2)		Laskennallinen $L_{p,A,B} = 40$ dB	
		$r_D$	$r_P$	$r_D$	$r_P$
Koulu 1	8 dB	14 m	23 m	8 m	14 m
Koulu 1, verhot kiinni	10 dB	10 m	16 m	6 m	11 m
Koulu 2.1	7 dB	8 m	16 m	8 m	15 m
Koulu 2.2	5 dB	16 m	27 m	9 m	16 m
Koulu 3	7 dB	16 m	27 m	8 m	15 m

Taulukko 4. Häiritsevyysäiteiden  $r_D$  ja yksityisyysäiteiden  $r_P$  muutos, kun taustäänitasa vaihtuu mitatusta (taulukko 2) laskennalliseen peiteäänitasaan 40 dB.

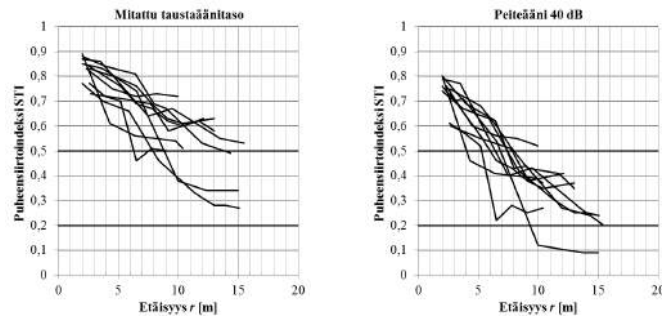
Tila	Häiritsevyysäiteen muutos $\Delta r_D$	Yksityisyysäiteen muutos $\Delta r_P$
Koulu 1	-6 m	-9 m
Koulu 1, verhot kiinni	-4 m	-5 m
Koulu 2.1	0 m	-1 m
Koulu 2.2	-7 m	-11 m
Koulu 3	-8 m	-12 m

Kuvassa 2 on esitetty häiritsevyysäiteen  $r_D$  muutos koulun 1 avoimessa oppimisympäristössä, kun tilan keskellä olevan ympyränmuotoisen alueen verhot ovat kiinni tai auki ja peiteäänitasa on joko tilassa mitattu rakennuksen LVIS-järjestelmien tuottama melutaso tai laskennallinen 40 dB peiteäänitasa.



Kuva 2. Häiritsevyysäiteen muutos koulussa 1, kun tilan keskellä olevat verhot ovat auki tai kiinni ja taustäänitasona on mitattu taustäänäni tai laskennallinen peiteäänäni 40 dB.

Puheen erotettavuuden tulee olla lähietäisyyksillä riittävä, kun opettaja puhuu samanaikaisesti koko ryhmälleen, jonka hän on koonnut ympärilleen. Tämä koskee myös tilanetta, jossa tilassa on peiteääni. Kuvassa 3 on esitetty puheensirtoindeksin STI arvon muutos yli 10 m pitkillä mittauslinjoilla etäisyyden suhteen, kun mittaustuloksiin on yhdistetty laskennallinen peiteäänitasa 40 dB sekä mitatuilla taustäänitasoilla.



Kuva 3. Puheensirtoindeksin STI arvo etäisyyden suhteen avointen oppimisympäristöjen yli 10 m ylittävillä mittalinjoilla, kun peiteäänitaso on mitattu tai laskennallinen 40 dB.

#### 4 TULOSTEN TARKASTELU

Mitatut jälkikaiunta-ajat olivat kaikissa tutkituissa avoimissa oppimisympäristöissä tasolla, jolla niiden tulisi ulkomaisten suunnitteluohjeiden perusteella olla [16]. Leviämismuunnoksen  $D_{2,S}$  ja häiritsevyyssäteen  $r_D$  arvot olivat kuitenkin varsin vaatimattomia: käytännössä puhe on selvästi kuultavissa koko tilassa. Tämä johtuu siitä, että osassa oppimisympäristöistä ei juuri ollut tilanjakajia. Parhaat leviämismuunnoksen arvot mitattiin koulussa 1, jossa tilanjakajia oli eniten. Tutkituissa tiloissa oli erittäin hiljaista: taustäänitaso oli osin sama kuin asuinhuoneistojen taustäänitaso Suomessa on [17].

Luokkahuoneiden suunnittelussa vuosikymmeniä käytetty jälkikaiunta-aika [18] ei ole riittävä avointen oppimisympäristöjen suunnittelukriteeri. Lyhytkään jälkikaiunta-aika ja suuri absorptioala eivät takaa riittävän hyviä ääniolosuhteita avoimiin oppimisympäristöihin puheen häiritsevyyden kannalta. Ääniolosuhteisiin voidaan vaikuttaa tilanjakajilla, kuten verhoilla, seinäkkeillä ja kalusteilla. Peiteäänien merkitys näyttää olevan suuri. Tässä tutkimuksessa käytettiin peiteäänitasona  $L_{p,A,B}$  40 dB. Jatkotutkimuksilla tulisi selvittää, millainen avointen oppimisympäristön peiteäänien tulisi olla tasoltaan ja spektriltään.

Standardin SFS 5907 mukaan luokkahuoneissa puheensirtoindeksin STI tulisi akustisessa luokassa C olla vähintään 0,7 [2]. Kuvan 3 perusteella tämä arvo saavutettaisiin useimmissa mittaustilanteissa 3–4 m etäisyydellä. Tämä riittänee etäisyydeksi, sillä avointen oppimisympäristöjen pedagogiikka ohjaa opettajia kokoamaan opetusryhmän lähelle, kun asioita on selvitettävä koko ryhmälle kerralla. Tarvittaessa opettajille voidaan järjestää pisteitä, joissa katossa on rajallinen ääntä heijastava pinta puheenerotettavuuden lisäämiseksi lähietäisyyksillä.

#### 5 YHTEENVETO

Tutkimuskirjallisuudessa keskeisenä akustisena ongelmana avoimissa oppimisympäristöissä pidetään opetusryhmien välisen yksityisyyden vähäisyyttä ja äänen leviämistä tilassa vapaasti. Tehtyjen huoneakustisten mittausten tulokset osoittivat, että jälkikaiunta-aika ei ole riittävä avointen oppimisympäristöjen suunnittelukriteeri, vaan suunnittelun tulee perustua puheenerotettavuuteen ja äänen leviämismuunnukseen. Mittaukset osoittivat myös, että taustäänitaso on yleensä erittäin hiljainen. Peiteäänä voidaan hyödyntää tehokkaasti rajoittamaan puheenerotettavuutta avoimissa oppimisympäristöissä.

## KIITOKSET

Kirjoittajat kiittävät Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:tä, Saint-Gobain Finland Oy:n Ecophon-yksikköä, Audico Systems Oy:tä ja A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n akustiikka-suunnitteluyksikköä tutkimuksen rahoittamisesta sekä Olli Niemeä, Pauli Pallaskorpea ja Jyri Hiltusta miellyttävästä johtoryhmätyöskentelystä.

## VIITTEET

- [1] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1: Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, ympäristöministeriö, Helsinki, 1998.
- [2] SFS 5907, Rakennusten akustinen luokitus, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, 2004.
- [3] Pääkkönen R, Vehviläinen T, Jokitulppo J, Niemi O, Nenonen S & Vinha J, Acoustics and new learning environment – A case study, *Applied Acoustics*, 100(2015), 74–78.
- [4] Shield B, Open plan schools: the acoustic challenges, 5th Symposium of the Finnish Society of Voice Ergonomics presentation, Helsinki, 9.9.2016.
- [5] King J, Sound of change in the American schoolhouse, *Sound*, 2(1963), 12–15.
- [6] Kingsbury H F & Taylor D W, Acoustical conditions in open-plan classrooms, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 47(1970), 79.
- [7] Sulewsky J E, Acoustics in office landscape and open-plan schools, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 48(1970), 99.
- [8] Schellenberg B, Noise and sound control in open plan schools, U. S. Department of Health, 1975. <http://www.eric.ed.gov/PDFS/ED109801.pdf>
- [9] Shield B, Greenland E & Dockrell J, Noise in open plan classrooms in primary schools: A review, *Noise & Health*, 12(2010), 225–234.
- [10] Keränen J, Measurement and prediction of the spatial decay of speech in open plan offices, Aalto University, School of Electrical Engineering, Doctoral Dissertations 23, Espoo, 2015.
- [11] ISO 3382-3, Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 3: Open plan offices, International Organization for Standardization, Genève, 2012.
- [12] Saarelainen J, Avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteet, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan koulutusohjelma, diplomityö, Tampere, 2017.
- [13] ISO 3382-2, Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms, International Organization for Standardization, Genève, 2008.
- [14] Pirn R, The class circle – an acoustical design concept for open-plan schools, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 97(1971), 97.
- [15] Hongisto, V & Kylliäinen M, RIL 243-3-2008 Rakennusten akustinen suunnittelu: toimistot, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, 2008.
- [16] 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.
- [17] Takala J & Kylliäinen M, Room acoustics and background noise levels in furnished Finnish dwellings, Proceedings of the 42<sup>nd</sup> International Congress on Noise Control Engineering Internoise 2013, Innsbruck, September 15-18, 2013.
- [18] Kylliäinen M & Valovirta I, Opetustilojen huoneakustiikka – paluu juurille, Akustiikkapäivät 2011, Tampere, 11.-12.5., 2011.