



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JANNE SAARELAINEN
AVOINTEN OPPIMISYMPÄRISTÖJEN ÄÄNIOLOSUHTEET

Diplomityö

Tarkastajat: professori Juha Vinha,
tekn. lis. Mikko Kylliäinen
Tarkastajat, aihe ja kieli hyväksytty
talouden ja rakentamisen tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 9. marras-
kuuta 2016

TIIVISTELMÄ

Janne Saarelainen: Avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteet

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 101 sivua, 192 liitesivua

Tammikuu 2017

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennesuunnittelu

Tarkastajat: prof. Juha Vinha, tekn. lis. Mikko Kylliäinen

Avainsanat: akustiikka, avoin oppimisympäristö, huoneakustiikka, koulu

Avoimet oppimisympäristöt ovat Suomessa yleistymässä oppilaitosten uudisrakennushankkeissa ja osin myös peruskorjaushankkeissa. Määräyksiä, ohjeita tai vakiintuneita käytäntöjä avointen oppimisympäristöjen suunnittelemiseksi ei ole toistaiseksi olemassa eikä avointen oppimisympäristöjen akustisista olosuhteista ole Suomessa tehty laajempaa tieteellistä tutkimusta.

Tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää tutkimuskirjallisuuden perusteella, mitkä akustiset ilmiöt avoimissa oppimisympäristöissä ovat merkittäviä. Tämän jälkeen huoneakustisella tietokonemallinnuksella tutkittiin, miten tunnistettuihin ilmiöihin voidaan erilaisilla suunnitteluratkaisuilla vaikuttaa. Tutkimuksen toisena tavoitteena oli selvittää huoneakustisin mittauksin, millaisia jo käyttöön otettujen avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteet ovat. Lisäksi tehtiin opettajille kysely, jonka tarkoituksena oli selvittää heidän käsityksiään avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteista.

Tutkimuskirjallisuuden perusteella keskeinen akustinen ilmiö avoimissa oppimisympäristöissä on opetusryhmien välisen yksityisyyden vähäisyys ja äänen leviäminen tilassa vapaasti eli vaatimaton leviämismuunnos. Huoneakustisen tietokonemallinnuksen perusteella suurin vaikutus äänen leviämismuunnokseen on tilanjakajilla, kuten seinäkeillä. Mallinnuksen perusteella todettiin, että merkittäviä vaikutuksia äänen leviämiseen voidaan saavuttaa myös kevyemmällä ratkaisulla, kuten verhoilla. Häiritsevyyden kannalta merkittävä tekijä on peiteääni. Mallinnuksen perusteella 30 dB taustaäänitaso ei riitä peittämään puheen äänitason suurillakaan etäisyyksillä. Sitä vastoin 40 dB peiteäänitaso lyhentää huomattavasti puheen häiritsevyyssädettä.

Syksyllä 2016 käyttöön otetuissa avoimissa oppimisympäristöissä tehdyt mittaukset osoittivat, että rakennuksen teknisten järjestelmien tuottama taustaäänitaso avoimiin oppimisympäristöihin on tavallisesti erittäin hiljainen. Suurimmassa osassa tiloja taustaäänitaso oli alle 35 dB ja joissakin tiloissa jopa alle 25 dB. Suurimmat leviämismuunnoksen arvot mitattiin tilassa, jossa oli eniten tilanjakajia. Muissa tiloissa leviämismuunnoksen arvot olivat selvästi pienempiä. Häiritsevyyssäteiden arvot olivat peiteäänien ja tilanjakajien puuttuessa varsin suuria.

Kyselyyn vastanneet opettajat olivat tunnistaneet tutkimuskirjallisuudessa selostetut avoimelle oppimisympäristölle tyypilliset ilmiöt ja osin ratkaisumallitkin, sillä he esittivät ehdotuksia tilanjakajien järjestämisestä tilaan. Yleisesti ottaen opettajat olivat uusiin tiloihin tyytyväisiä.

ABSTRACT

Janne Saarelainen: Acoustics of Open-Plan Schools
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 101 pages, 192 Appendix pages
January 2017
Master's Degree Programme in Civil Engineering
Major: Structural Engineering
Examiners: Prof. Juha Vinha, Lic. Tech. Mikko Kylliäinen

Keywords: acoustics, open-plan school, room acoustics, school

Open-plan schools are becoming more common in Finland. Regulation, guidelines or established design practices for acoustical engineering of open-plan schools do not exist. No scientific research dealing with the acoustics of the open-plan schools has not been done in Finland either.

The first object of this research was to study research literature in order to find out which acoustic phenomena are most important in open-plan schools. After this, room acoustic computer modelling was carried out in order to study, how different design solutions could affect these phenomena. The second object of this study was to survey the acoustical conditions in completed open-plan schools. In addition, a questionnaire for teachers was done. The purpose of the questionnaire was to find out the teacher's views on the acoustics of the open-plan schools and connect them with the measurement results.

On the basis of the research literature, an acoustic key phenomenon in the open-plan schools is lacking privacy between learning groups and too modest value of spatial decay rate of speech. The room acoustical computer modelling indicated, that significant effects on spatial decay rate can be achieved by screens or other dividing elements in the room. Also lighter solutions like curtains could be used in this purpose. The most important factor dealing with distraction associated with speech is artificial masking sound. The results show that a typical HVAC noise level of 30 dB does not mask the speech sound levels enough. A masking sound level of 40 dB, however, shortens the distraction distance significantly.

Room acoustical measurements in open-plan schools completed in 2016 indicated that the sound level generated by the HVAC systems was low. In most of the open-plan schools the sound level was below 35 dB and in some schools even below 25 dB. The greatest values of spatial decay rates of speech were measured in rooms with a large number of screens and other dividing elements. In other rooms, the decay rates were clearly smaller. Distraction distances were quite long because of lacking screens and masking sound.

On the basis of the questionnaire, the teachers had recognized the acoustic phenomena described in the research literature and partly the solutions, too. Some of them suggested installation of dividing elements or screens in the room. Generally, the teachers were satisfied with the new open-plan schools.

ALKUSANAT

Haluan kiittää työn rahoittajia A-Insinöörit Suunnittelu Oy:tä, Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:tä, Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:tä (Ecophon) ja Audico Systems Oy:tä. Hankkeen johtoryhmän ovat muodostaneet Olli Niemi (Suomen Yliopistokiinteistöt Oy), Pauli Pallaskorpi (Ecophon), Jyri Hiltunen (Audico) sekä ohjaajani Mikko Kylliäinen ja Rauno Pääkkönen A-Insinöörit Suunnittelu Oy:stä. Johtoryhmää tahdon kiittää erittäin hyvistä ja moninäkökulmaisista kokouksista. Erikoiskiitos Mikolle kärsivällisyydestä luotsata työtä loppuun asti vastoinkäymisistä huolimatta.

Tahdon myös kiittää kotiväkeä tsemppauksesta sekä työtovereita Pekkaa, Jesseä, Joosea ja Villeä vinkeistä, opastuksesta, kuuntelemisesta sekä mittausavusta. Kiitos myös ystävilleeni Eetulle, Eetulle ja Petrille, jotka auttoivat unohtamaan työn aina hetkeksi.

Kiitos työhön osallistuneiden koulujen rehtoreille, opettajille, sekä mittausjärjestelyihin osallistuneille henkilöille. Kiitokset myös kaikille työn kyselyyn vastanneille opettajille.

Toivon, että työstäni on hyötyä nyt ja lähitulevaisuudessa. Koska tutkimus on ensimmäinen laatuaan Suomessa, koitin lähestyä tutkimusaihetta mahdollisimman laaja-alaisesti. Mielestäni on syytä ymmärtää akustiikan paikka avoimen oppimisympäristön kokonaisuudessa; konserttiinkin ei mennä lähtökohtaisesti ihastelemaan konserttitilan akustiikkaa, vaan kuuntelemaan orkesteria tai yhtyettä ja sen soittamaa musiikkia. Toisaalta hyvä konserttialin akustiikka on tärkeä musiikin selvyuden ja kauneuden kannalta. Sama tulisi muistaa myös avoimissa oppimisympäristöissä, missä päätarkoitus on opetustyö ja oppilaiden oppiminen, mitä – kuten konserttitilojen osalta – akustiikalla voidaan tukea. Varmaa on kuitenkin se, että kuten konserttitiloissakaan ei myöskään avoimissa oppimisympäristöissä tule aliarvioida akustiikan merkitystä lopputuloksen kannalta.

Tampereella, 30.11.2016

Janne Saarelainen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	KIRJALLISUUSTUTKIMUS	3
2.1	Oppimisympäristön ja avoimen oppimisympäristön määritelmät	3
2.2	Avointen oppimisympäristöjen kehittyminen	4
2.3	Avoimet oppimisympäristöt Suomessa	9
2.4	Avointen oppimisympäristöjen akustiikka ja tilankäyttö	11
2.5	Toiminnasta aiheutuvat äänitasot avoimissa oppimisympäristöissä	14
2.6	Ääniergonomia avoimissa oppimisympäristöissä	17
2.7	Opetustilan akustiikan suunnittelu.....	18
2.7.1	Avointen oppimisympäristöjen akustiikan mallintaminen.....	18
2.7.2	Luokkahuoneen akustiset suunnittelukriteerit	21
2.7.3	Avoimen oppimisympäristön akustiset suunnittelukriteerit	22
2.8	Päätelmät kirjallisuustutkimuksesta	27
3.	HUONEAKUSTIIKAN MALLINTAMINEN.....	29
3.1	Huoneakustisen mallinnuksen tavoitteet.....	29
3.2	Mallinnusmenetelmä.....	29
3.3	Huoneakustiset mallit	30
3.4	Tutkitut tilanteet	33
3.4.1	Tyhjä tila.....	33
3.4.2	Seinäkkeet.....	33
3.4.3	Verhot.....	37
3.5	Huoneakustisen mallinnuksen tulokset.....	39
3.6	Mallinnustulosten tarkastelu	41
3.6.1	Tyhjä tila.....	41
3.6.2	Seinäkkeet.....	42
3.6.3	Verhot.....	46
4.	HUONEAKUSTIIKAN MITTAUKSET	51
4.1	Mittausstarve.....	51
4.2	Mittauskohteet	52
4.2.1	Koulu yksi	52
4.2.2	Koulu kaksi.....	54
4.2.3	Koulu kolme	58
4.3	Mittaukset.....	61
4.3.1	Mittausmenetelmä.....	61
4.3.2	Mittauskalusto.....	62
4.3.3	Mitatut suureet	63
4.3.4	Mittauslinjat.....	63
4.4	Mittaustulokset	68
4.4.1	Koulu 1	68
4.4.2	Koulun kaksi avoin oppimisympäristö yksi	69

4.4.3	Koulun kaksi avoin oppimisympäristö kaksi	69
4.4.4	Koulu kolme	70
4.5	Mittaustulosten tarkastelu	71
4.5.1	Puheensiirtoindeksi lähietäisyyksillä	71
4.5.2	Leviämismuunnos	72
4.5.3	Häiritsevyys- ja yksityisyysnäkökohdat	73
4.5.4	Jälkikäyttö-aikat	74
5.	KYSELYTUTKIMUS.....	75
5.1	Kyselytutkimuksen tavoitteet	75
5.2	Kysymysten kuvaus ja perustelut	75
5.2.1	Ensimmäinen osio: siirtyminen avoimeen oppimisympäristöön... ..	75
5.2.2	Toinen osio: avoin oppimisympäristö opetuksen kannalta	76
5.2.3	Kolmas osio: äänenkäyttö avoimessa oppimisympäristössä	76
5.2.4	Neljäs osio: avoin oppimisympäristö oppilaiden kannalta.....	76
5.2.5	Viides osio: äänympäristön kehittäminen	77
5.3	Kyselytutkimuksen toteutus	77
5.4	Kyselytutkimuksen tulokset	77
5.5	Kyselytutkimuksen tulosten tarkastelu	84
6.	YHTEENVETO.....	89
	LÄHTEET.....	93
	LIITTEET.....	101

LYHENTEET JA MERKINNÄT

α	Absorptiosuhde
A	Absorptioala [m ²]
AI	Artikulaatioindeksi
$D_{2,S}$	A-painotettu äänen leviämismuunnos [dB]
EDT	Varhainen jälkikaiunta-aika [s]
f	Taajuus [Hz]
h_c	Verhon korkeus [m]
h_r	Huonekorkeus [m]
h_s	Seinäkkeen korkeus [m]
$L_{A,eq}$	A-painotettu keskiäänitaso [dB]
$L_{A,eq,B}$	Taustäänänen tai peiteäänänen A-painotettu keskiäänitaso [dB]
$L_{A,eq,S}$	Puheen A-painotettu keskiäänitaso [dB]
L_p	Äänenpainetaso [dB]
L_W	Äänitehotaso [dB]
$L_{W,S}$	Puheen äänitehotaso [dB]
R	Ilmaääneneristävyys [dB]
R'_w	Ilmaääneneristysluku [dB]
r_D	Häiritsevyyssäde [m]
r_P	Yksityisyysäde [m]
S	Pinta-ala [m ²]
s	Sirontakerroin
SII	Puheen ymmärrettävyysindeksi
STI	Puheensiirtoindeksi
T_{20}	Jälkikaiunta-aika, perustuu 20 dB vaimenemiseen [s]
T_{60}	Jälkikaiunta-aika, perustuu 60 dB vaimenemiseen [s]
w_s	Seinäkkeen leveys [m]

1. JOHDANTO

Uuden opetussuunnitelman [68, 70] myötä avoimet oppimisympäristöt ovat Suomessa yleistymässä jokaisen kouluasteen oppilaitosten uudisrakennushankkeissa ja osin myös peruskorjaushankkeissa. Määräyksiä, ohjeita tai vakiintuneita käytäntöjä avointen oppimisympäristöjen suunnittelemiseksi ei ole toistaiseksi olemassa. Rakennusten ääniolosuhteita koskeva Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1 vuodelta 1998 [88] ei tunne avoimia oppimisympäristöjä, eikä kohta kymmenen vuotta sitten julkaisussa Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n akustiikkasuunnittelun opaskirjassakaan [77] ole näiden tilojen akustiikkasuunnittelun ohjeita.

Avointen oppimisympäristöjen akustisista olosuhteista ei ole Suomessa tehty laajempaa tieteellistä tutkimusta. Tarve tällaiselle tutkimukselle on kuitenkin tunnistettu artikkeleissa, joka keskittyi puheenerotettavuuden selvittämiseen yhdessä avoimessa oppimisympäristössä [80]. Puheenerotettavuus on kuitenkin vain yksi osa-alue oppimisympäristön akustiikasta. Puhe, jolla ei ole oman tehtävän kannalta merkittävää informaation sisältöä, on tarpeetonta ja se voi olla jopa häiritsevää. Tältä kannalta avoimia oppimisympäristöjä ei ole Suomessa tutkittu.

Ulkomailla avoimia oppimisympäristöjä on rakennettu laajemmassa määrin 1960-luvulta lähtien [6]. Tuon ajan avoimet oppimisympäristöt eivät aina onnistuneet, ja myöhemmin näitä tiloja on muutettu väliseinin luokkahuoneiksi. Avointen oppimisympäristöjen maine ja ennakoasenteet niitä kohtaan suurelta osin perustuvat 50 vuoden takaiseen rakentamiseen. Tulevaisuuden kouluhankkeiden kannalta on tärkeää selvittää, mitkä seikat johtivat aikanaan epäonnistumisiin. Tällöin näitä ongelmia voidaan välttää ja edelleen kehittää suunnitteluratkaisuja, jotka ottavat nämä seikat huomioon.

Tämän tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena on selvittää tutkimuskirjallisuuden perusteella, mitkä akustiset ilmiöt avoimissa oppimisympäristöissä ovat merkittäviä. Tämän jälkeen huoneakustisella tietokonemallinnuksella tutkitaan, miten tunnistettuihin ilmiöihin voidaan erilaisilla suunnitteluratkaisulla vaikuttaa. Tavoitteena on tunnistaa tärkeimmät ilmiöt ja merkittävimmät niihin vaikuttavat tekijät.

Suomessa ensimmäiset avoimet oppimisympäristöt on jo toteutettu ja useita on rakenteilla tai suunnitteluvaiheessa. Tutkimuksen toisena tavoitteena on selvittää, millaisia jo toteutettujen ja käyttöön otettujen avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteet ovat. Käyttöön otettujen avointen oppimisympäristöjen akustisia olosuhteita selvitetään akustisin

mittauksin. Lisäksi tehdään opettajille kysely, jonka tarkoituksena on selvittää heidän käsityksiään avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteista ja kytkeä nämä käsitykset mitaustuloksiin.

2. KIRJALLISUUSTUTKIMUS

2.1 Oppimisympäristön ja avoimen oppimisympäristön määritelmät

Oppimisympäristöllä tarkoitetaan fyysistä, psyykkistä ja sosiaalisista tekijöistä koostuvaa ympäristöä, jossa opiskelu ja oppiminen tapahtuvat. Suomen opetushallinto jäsentää oppimisympäristön eri osa-alueet seuraavasti:

- Rajoittavat ja mahdollistavat tekijät
 - o fyysinen: luokkahuone, koulurakennus, huonekalut
 - o teknologinen: työkalut ja välineet (esim. kynä, paperi, oppimisalusta)
- Suunnitellut tekijät
 - o kasvatukselliset periaatteet
 - o opetuskäytännöt ja menetelmät
- Interpersoonalliset tekijät
 - o sosiaalinen: oppijat, kaverit, sosiaaliset vuorovaikutukset
 - o kulttuurinen: koulun toimintatavat, oppijoiden toimintatavat, sekä tunnettu että piilokulttuuri
- Intrapersoonalliset tekijät
 - o oppijan tiedot ja taidot
 - o motivaatio, tavoitteet, vireys, tunnetila

Kaikki nämä tekijät vaikuttavat oppimis- tai opetustilanteen onnistumiseen ja tuloksiin. Erilaiset työkalut voivat mahdollistaa uusia toimintatapoja, mutta usein ne myös rajoittavat toimintamahdollisuuksia. Lisäksi opetushallinto täsmentää, että työkalujen tarjoamat mahdollisuudet ja rajoitteet on otettava huomioon oppimisympäristöä suunniteltaessa. Kaiken tämän kivijalkana ovat pedagogiset periaatteet, joilla tähdätään joihinkin tiettyihin oppimistuloksiin. Oppimistuloksiin pääsemiseksi sovelletaan opetuskäytäntöjä ja -menetelmiä. Opetusvälineiden tulee tukea opettamista ja opiskelua [54]. Oppimisympäristön määritelmä perustuu valtioneuvoksen asetukseen 422/2012, joka esittää vaatimukset sivistyksen, tasa-arvoisuuden ja elinikäisen oppimisen edistämiseksi. Oppimisympäristö käsitteenä esitetään puolestaan myös suomalaisessa perusopetuksen opetussuunnitelmassa 2014 [70, 90].

Avoimen oppimisympäristön käsitteeseen kuuluvat samat tekijät kuin oppimisympäristöön yleensä: siihen liitetään fyysiset tilat, virtuaaliset tilat, teknologia, sosiaalinen ympäristö ja verkosto sekä mentaalinen ilmapiiri. Avoimen oppimisympäristön käsitteen yhteydessä tieto- ja viestintätekniikan tulee tukea avointa sähköistä oppimisympäristöä eli avointa oppimisalustaa. Oppimisalustaa voidaan käyttää langattomilla laitteilla tai tilojen kiinteillä laitteilla. Tieto- ja viestintätekniikka ei kuitenkaan välttämättä tee opetuksesta

avointa, vaan päinvastoin se voi sulkea oppimisprosessin vielä tiiviimmin opettajan ja luokan väliseksi.

Avoimen oppimisympäristön käsitteen ymmärtämiseksi tarvitaan vertailukohta. Perinteisessä frontaaliopetustilanteessa opettaja opettaa luokahuoneessa suljettujen ovien takana omaa ryhmäänsä. Kun suljetuista luokista ja oppimisympäristöistä halutaan saada vuorovaikutuksellisia oppimistilanteita, joissa oman opiskelijaryhmän ja opettajan lisäksi oppimisprosessia tukevat toiset opettajat ja toiset opiskelijat, aletaan puhua avoimesta oppimisympäristöstä. Oppimisresurssien avoimuus mahdollistaa puolestaan elinikäisen jatkuvan oppimisen. Vuorovaikutusta voidaan parantaa, kun samaan tilaan asetetaan useita luokkia ja opettajia. Tällöin aletaan puhua avoimesta fyysisestä oppimisympäristöstä. Avoin fyysinen oppimisympäristö helpottaa tiedon ja ideoiden jakoa ja lisää yhteistyötä. Samalla tavalla kuin avoin oppimisalusta vapauttaa tiedon saantia, vapauttaa avoin fyysinen oppimisympäristö tilan käyttöä, joka mahdollistaa tilassa monipuolisempia suoritettavia aktiviteetteja sekä valinnan vapauden paikalle, jossa aktiviteetti suoritetaan. [27, 50, 53, 57]

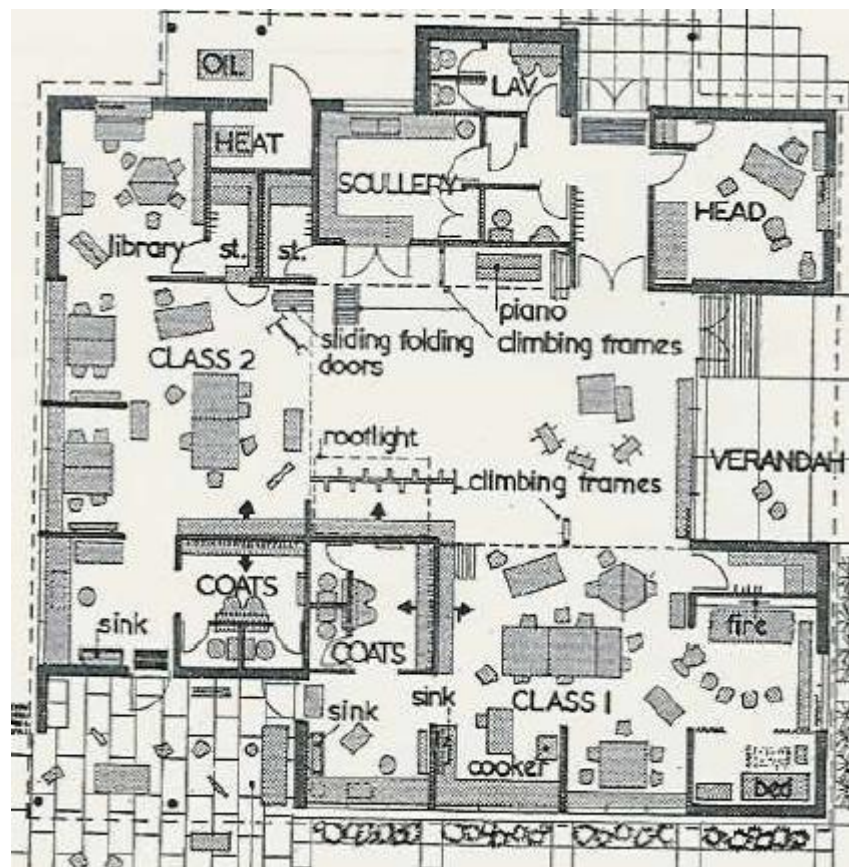
2.2 Avointen oppimisympäristöjen kehittyminen

Ajatukset avoimista oppimisympäristöistä alkoivat muodostua aikakaudella 1930–1945 Italiassa Maria Montessorin ja Yhdysvalloissa John Deweyn vaikutuksesta. Nämä tutkijat tukivat oppilaskeskeistä pedagogiikkaa ja kehittivät opetusteorioita, jotka muodostavat perustan pitkälti myös tämän päivän opetusmalleissa. Samaan aikaan muodostui myös arkkitehtisukupolvi, joka alkoi tukea uudenlaista koulurakentamista. Tältä aikakaudelta ovat Eliel Saarisen Cranbrookin poikakoulu (1925) sekä Alvar Aallon Tehtaanmäen koulu (1937). Näiden koulujen suunnittelussa painotettiin ilmanlaatua, valoisuutta, ulkona oppimista sekä koulurakennusten välistä vaivatonta kulkemista. [55]

Opetusmenetelmiä koskevissa tutkimusraporteissa on 1930-luvulla havaittavissa teoreettisia lähtökohtia, jotka ovat lähellä nykykäsitteitä avoimista oppimisympäristöistä. Tuolloin ajateltiin, että alakoulujen opetussuunnitelmia tulisi ajatella aktiivisuuden ja kokemusten kautta mieluummin kuin tiedon keräämisen kannalta; luokahuone tulisi nähdä ennemminkin avoimena leikkikenttänä kuin rajoitettuna tilana. 1930-luvulla eri-ikäisiä lapsia alettiin yhdistää samaan opetusryhmään. Tämä muutos alkoi pienistä lapsista ja laajeni sittemmin hieman varttuneempaankin nuorisoon [58].

Avoimet oppimisympäristöt yleistyivät toisen maailmansodan jälkeisenä aikana vuosina 1945–1960 etenkin Yhdysvalloissa [15, 55]. Isossa-Britanniassa ensimmäinen rakennusaalto nähtiin myös toisen maailman sodan jälkeen 1950- ja 1960-luvuilla vastauksena taloudellisiin rajoituksiin. Ensimmäiset koulut Britanniassa rakennettiin pääosin osittain avoimina, jolloin opetustilat yhdistettiin toisiinsa käytävillä sekä siirtoseinillä [6, 18]. Britannian ensimmäisestä avoimen oppimisympäristön, Oxfordshiressa sijaitsevan Finmeren

koulun (1959) pohjapiirustuksesta on havaittavissa tummemmalla sävyllä kiinteät rakenteet, sekä harmaalla värillä kalusteet ja tilanjakajat (kuva 2.1). Lisäksi kuvassa on nimetty tilojen käyttötarkoituksia [6, 58].



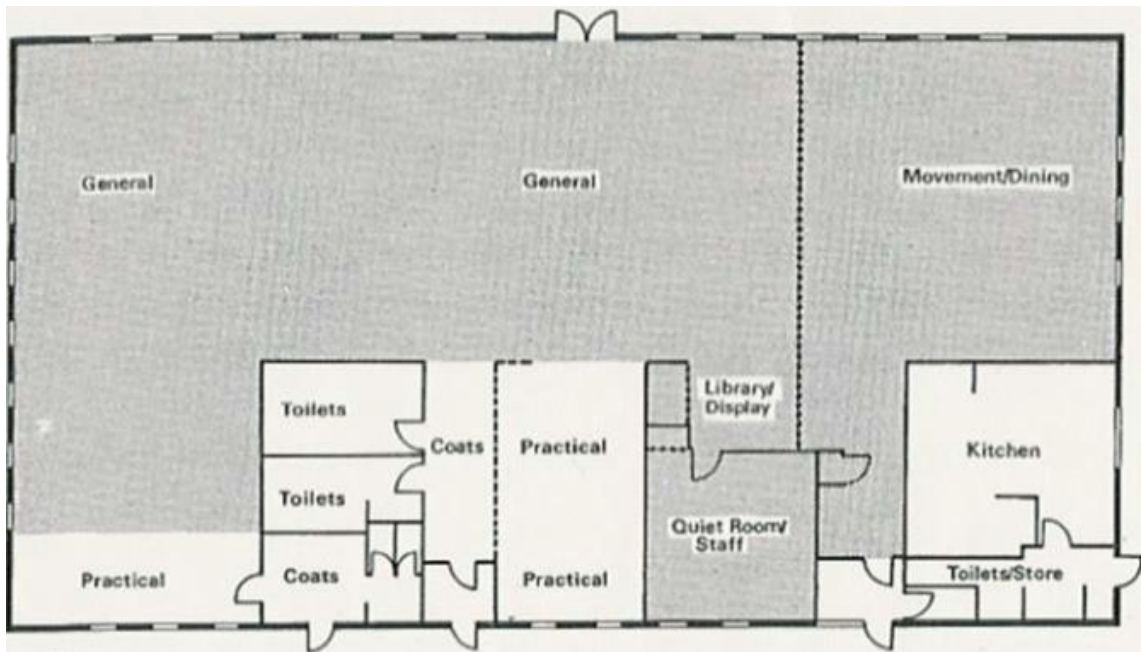
Kuva 2.1. Ison-Britannian ensimmäisen avoimen oppimisympäristön pohjapiirustus Finmeren koulusta Oxfordshiressa (1959) [6, 58].

Avointen oppimisympäristöjen vilkkain rakennusvaihe anglosaksisissa maissa oli vuosina 1960–1980, jolloin Englannissa ja Walesissa alakouluista oli avoimia oppimisympäristöjä 10% ja Yhdysvalloissa 50%. Yhdysvaltojen prosenttilukuun kuuluvat sekä osittain että täysin avoimet oppimisympäristöt [18]. Britanniassa tavoitteena oli suunnitella kouluihin enemmän hyödyllistä lattiapinta-alaa kuin ennen toista maailmansotaa suunnitelluissa kouluissa. Tämä tarkoitti lisää yksilöllisiä tiloja mm. äänenkäytön ja tilan koon suhteen sekä lisää muokattavia tiloja [58].

Yhdysvalloissa avoimia oppimisympäristöjä toteutettiin uudis- ja muutoshankkeissa karsimalla luokkien välisiä väliseiniä pois [4, 35]. Poistuneiden väliseinien tilalle tuotiin lisää liikuteltavia huonekaluja, mutta paikoitellen tiloihin tehtiin myös siirtoseiniä [4, 35]. Vuonna 1968 Yhdysvalloissa tehtiin tutkimus, jolla selvitettiin arkkitehtien hiljattain suunnitteleminen koulujen määrää perinteisten oppimisympäristöjen ja avointen oppimisympäristöjen osalta. Tutkimukseen osallistui 401 arkkitehtitoimistoa, joiden suunnittelemissa kouluista 27% oli avoimia oppimisympäristöjä [39].

Isossa-Britanniassa kehittyi 1960-luvulla opetusmenetelmä ”yhdistetty päivä”, jonka puitteissa oppilaat suorittivat samaan aikaan eri tehtäviä. Samaan aikaan kehittyi myös opetusmenetelmä, jossa kaksi tai useampi opettaja opetti yhteistyössä samaa opetusryhmää. Uudet opetusmenetelmät ja avoimet oppimisympäristöt eivät kuitenkaan välttämättä taanneet avointa tiedonsiirtoa tai opetusta. Tämä saattoi johtua opettajien perehdyttämisen vähyydestä tai uusien ideologioiden sisäistämättömyydestä. Ongelmat eivät olleet paikkakuntakohtaista, vaan niistä on raportoitu Ison-Britannian lisäksi Yhdysvalloista, Kanadasta, Australiasta, Uudesta-Seelannista ja Ruotsista [58].

1970- ja 1980-luvuilla avoimiin oppimisympäristöihin kohdistui paljon tyytymättömyyttä ja kritiikkiä. Tyytymättömyyden johdosta moniin kouluihin rakennettiin oppimisalueiden välille väliseiniä, jolloin palattiin takaisin perinteisten luokkahuoneiden tilamalleihin, kasvatuksellisiin periaatteisiin ja opetusmenetelmiin [7, 15, 27, 35, 39, 58, 73, 77]. Pääsyytä avoimiin oppimisympäristöihin kohdistuneeseen kritiikkiin oli kaksi: tilankäyttö (kuva 2.2) ja akustiikka. Tilankäytön ongelmat nähtävästi johtuivat opettajien riittämättömästä perehdyttämisestä. Akustiikan kannalta suurimmat ongelmat olivat avointen oppimisympäristöjen suurissa äänitasoissa ja siinä, että ääni pääsi avoimessa tilassa leviämään esteettä [4, 7, 15, 16, 18, 35, 39, 72, 73, 77]. Yhdysvalloissa on vuodesta 2002 pyritty rajoittamaan avointen oppimisympäristöjen rakentamista korkeiden taustäänitasojen vuoksi, sillä niiden katsotaan vaikuttavan negatiivisesti lasten oppimiseen [53].



Kuva 2.2. Eastergaten koulun pohjapiirustus vuodelta 1970, West Sussex, Iso-Britania [6].

Viime vuosikymmeninä avoimia oppimisympäristöjä on alettu rakentaa jälleen eri puolilla maailmaa, kuten Uudessa-Seelannissa, Australiassa, Yhdysvalloissa, Tanskassa, Japanissa, Norjassa, Ruotsissa, Portugalissa. Suomessa ensimmäiset avoimet oppimisympäristöt on otettu käyttöön ja uusia on rakenteilla eri puolilla maata [6, 18, 53].

Tanskassa luovuttiin avoimista oppimisympäristöistä 1960- ja 1970-lukujen kokeiluiden epäonnistumisen vuoksi, mutta sielläkin niitä on 2000-luvulla alettu rakentaa jälleen. Tanskassa on luotu omat standardit avointen oppimisympäristöjen akustiikan osalta [10, 11, 13]. Standardissa annetaan ohjeita absorptioalasta, tilanjakajien ilmajäneristävyydestä, tilan jälkikaiunta-ajasta, leviämismuunnoksesta, puheensirtoindeksistä ja äänen leviämismuunnoksesta [10]. Puheensirtoindeksi STI on alkujaan puhetiloihin varten kehitetty mittaluku, joka saa arvoja 0 ja 1 väliltä. Arvo 0 tarkoittaa, että yhdestäkään tilasta satunnaisesti lausutusta tavusta ei saa selvää ja arvo 1, että jokaisesta tavusta saadaan täysin selvää [61]. Äänen leviämismuunnos $D_{2,s}$ kuvaa sitä, kuinka monta desibeliä puheen äänitaso laskee etäisyyden kaksinkertaistuessa.

Yksi ensimmäisistä uuden rakennusaallon avoimista oppimisympäristöistä Tanskassa on Hellerupin koulu (kuva 2.3), jota voitaneen pitää jo onnistuneena avoimena oppimisympäristönä (2000-2002). Koulun onnistuneisuuden osalta ei painoteta pelkästään optimoituja akustiikkaa, vaan myös uutta pedagogiikkaa ja arkkitehtuuria. Täysin ongelmitta ja muutoksitta Hellerupin koulukaan ei ole rakentunut: vuosina 2007–2010 koulun avoimille alueille lisättiin ääntä vaimentavia pintoja sekä paikoitellen tilanjakajia. Korjausten myötä yhteisten avointen alueiden jälkikaiunta-aika laski noin 0,4 sekuntiin, puheensirtoindeksin arvo tilan sisällä asettui välille 0,73–0,8 ja avointen oppimisympäristöjen välinen puheensirtoindeksi jäi arvon 0,2 alapuolelle. Leviämismuunnoksen yksiluarvo pienimpien lasten avoimessa oppimisympäristössä oli 5 dB.



Kuva 2.3. Hellerupin koulun ensimmäisen kerroksen pohjapiirustus, Tanska. Kuvassa eri avoimet oppimisympäristöt on esitetty eri väreillä [11].

Diplomityön yhteydessä vierailtiin 2000-luvulla valmistuneessa hollantilaisessa avoimessa oppimisympäristössä, De Werkplaats Kindergemeenschap -koulussa Utrechtissa (liite H). Koulu oli tiloiltaan täysin avoin ja niissä opiskeli 8–9 erillistä opetusryhmää. Opetusryhmien alueet kiertyivät puoliympyrän kaaren muotoisesti ympyrän keskipisteen ympärille (kuva 2.4); koko avoin alue oli käytössä opetustilana. Tila oli suunniteltu lähtökohtaisestikin täysin avoimeksi, sillä pelättiin, että osittain avoin ratkaisu ei tulisi toimimaan toivotusti ja että tästä johtaisi paluu luokkahuoneisiin. Tilan suunnitteluvaiheessa opettajat tulevaan kouluun valittiin sillä perusteella, että he olivat innostuneita ja valmiita toimimaan tiiminä avoimessa oppimisympäristössä.



Kuva 2.4. De Werkplaatsin koulun avoin oppimisympäristö keskustilasta opetusryhmiin päin kuvattuna. Opetusryhmät eroteltu toisistaan lyhyillä väliseinäosuuksilla.

Tiloissa oli paljon erilaisia objekteja, joilla luotiin yksityisyyttä, viihtyisyyttä sekä äänen sironnasta ja absorptiota. Koulun alakatto oli kauttaaltaan ääntä vaimentavaa pintaa. Huonekorkeus opetusryhmien alueella oli suurempi kuin käytävillä ja keskustilassa. Koulun akustiikka ei ollut onnistunut täysin ensimmäisellä yrittämällä ja sitä on paranneltu ajan saatossa lisäämällä pääosin absorptiomateriaaleja. Taustäänitaso $L_{A,eq}$ oli kuitenkin aistinvaraisesti arvioituna 50 dB ja voi olla, että pitempiaikainen oleskelu tilassa voi johtaa taustäänitason kokemiseen häiritseväksi.

Nuorimmat oppilaat opiskelivat pienimmissä avoimissa opetusalueissa ja vanhimmat suurimmissa. Tiloissa oli ryhmätyöskentelyalueiden lisäksi myös yksilötyöskentelyalueita. Äänenkäyttö tilassa oli maltillista ja monet opettajista olivatkin käyttäneet puheterapiapalveluita, jotka he olivat myös kokeneet hyödyllisiksi. Opetusryhmät käyttivät hyvin tarkasti niille ohjattuja alueita, mutta tarkkaavaisuushäiriöisillä oppilailla oli erinäisvauksia aktiviteettien ja tilankäytön suhteen – valvotusti tosin. Toisaalta mikäli oppilaat

väsyivät, he saivat käydä ulkona esimerkiksi hoitamassa koulun piha-alueella ollessa pienessä eläintarhassa eläimiä.

2.3 Avoimet oppimisympäristöt Suomessa

Suomessa mahdollisesti tunnetuin osittain avoin oppimisympäristö on Oulun normaalikoulun UBIKO-tila (kuva 2.5). UBIKO-hankkeen keskeisenä päämääränä on luoda hyviä pedagogisia käytänteitä ja toimintamalleja, joiden avulla koulun toimintakulttuuria ja infrastruktuuria voidaan uudistaa ymmärtävään, taitavaan ja innostavaan oppimiseen [89]. Opetustilat ovat eroteltavissa siirtoseinin (kuvassa 2.5 valkoisella) tai ovien avulla. Tilojen suunnittelussa on pyritty laaja-alaiseen ja monipuoliseen käyttöön [79].



Kuva 2.5. Oulun normaalikoulun UBIKO-opetussolu (2012) [69].

Oulun normaalikoulun avoimessa oppimisympäristössä on tehty akustisia tutkimuksia erottavien rakenteiden ilmäääneneristyksen ja opetusalueiden puheenselvyyden osalta. Mittaukset on suoritettu ajatellen akustiikkastandardissa SFS 5907 esitettyjä vähimmäisvaatimuksia luokkahuoneiden akustiikalle [79, 81]. Opetustilojen jälkikaiunta-ajat T_{30} olivat 0,37–0,5 s ja puheensirtoindeksin arvot välillä 0,75–0,81. Tutkimuksessa havaittiin kokolattiamaton alentavan merkittävästi kävelyn tilaan tuottamaa äänitasoa. Tutkimuksen tulosten perusteella toisaalta havaittiin katon ääntä vaimentavien pintojen olevan lattiaa merkittävämpiä. Tämän lisäksi havaittiin myös pehmeiden kalustusten vaikutus huoneakustiikkaan. Opetusalueiden A-painotetut taustäänitasot olivat välillä 40–50 dB

[79, 80]. Tutkimuksen perusteella opetustilojen väliset ilmaääneneristysluvut olivat noin 2–6 dB luokkahuoneiden ohjearvoa 44 dB pienempiä [80, 81].

Tutkimuksen puheenselvyyden arvot ovat opetusalueiden sisäisiä arvoja, joille standardissa SFS 5907 on esitetty ohjearvoja. Standardin mukaan vähimmäisvaatimus puheensieroindeksille STI on luokkahuoneen sisällä akustisessa luokassa C vähintään 0,7 ja luokissa A ja B vähintään 0,8. Oulun normaalikoulussa ei mitattu opetustilojen välisiä puheensieroindeksejä, kuten tanskalaisessa Hellerupin koulussa tehtiin [11].

Suomessa esiopetuksen, perusopetuksen, lisäopetuksen ja perusopetukseen valmistavan opetuksen tavoitteet on määritelty valtioneuvoston asetuksessa 422/2012 [68]. Asetuksen perusteella on luotu kansalliset opetussuunnitelmat, joista uusin yhteinen versio on vuodelta 2014 (OPS 2014). Vuoden 2014 opetussuunnitelman kehitystä on jatkettu esi- ja perusopetuksen opetussuunnitelmien uudistamisella, joka kantaa nimeä opetussuunnitelma 2016. OPS 2016:n ero OPS 2014:aan nähden on se, että opetussuunnitelmat laaditaan kansallisen tason sijasta paikallisella tasolla [68]. Kehityksellä pyritään luomaan paremmat edellytykset koulun kasvatustyölle, kaikkien oppilaiden mielekkäälle oppimiselle sekä kestäväälle tulevaisuudelle. Opetussuunnitelmalla 2016 pyritään myös jäsentämään ja karsimaan perusopetuksen sisältöä siten, että voitaisiin kiireettömämmin keskittyä olennaiseen ja syventää oppimista.

Perusopetuksen opetussuunnitelmassa 2014 esitetään paikallisen opetussuunnitelman merkitys ja ohjeita sen laatimiseen, perustellaan perusopetuksen merkitys, kuvataan perusopetuksen tavoitteet, kuvataan toimintakulttuurin merkitystä ja sen kehitystä, käydään läpi opetuksen menetelmiä, oppimisen ja koulunkäynnin tukea, oppilashuoltoa, lukuaineita ja niiden tuntimääriä, sekä kulttuuriin liittyviä erityiskysymyksiä. Opetussuunnitelman perusteet perustuvat oppimiskäsitykseen, jonka mukaan oppilas on aktiivinen toimija. Perusopetuksen arvoperusta on oppilaan ainutlaatuisuudessa ja oikeudessa saada hyvää opetusta. Toimintakulttuurin määrittellään vaikuttavan aina oppilaan kohtaamaan koulutyön laatuun ja toimintakulttuurin ytimenä onkin oppiva yhteisö. Toimintakulttuurin kehittämistä ohjaavina periaatteina mainitaan mm. vuorovaikutus ja monipuolinen työskentely. Oppimisympäristöjen puolestaan tulee tukea yksilön ja yhteisön kasvua, oppimista ja vuorovaikutusta.

Oppimisympäristöjen kehittämisen tavoitteena on, että oppimisympäristöt muodostavat pedagogisesti monipuolisen ja joustavan kokonaisuuden. Perusopetuksen tilaratkaisujen kehittämisessä, suunnittelussa, toteutuksessa ja käytössä tulee ottaa huomioon ergonomia, ekologisuus, esteettisyys, esteettömyys ja akustiset olosuhteet, sekä tilojen valaistus, sisäilman laatu, viihtyisyys, järjestys ja siisteys. Tämän lisäksi tulee ottaa huomioon koulu yhteisön ja jokaisen oppilaan kokonaisvaltainen hyvinvointi; hyvän työrauhan sekä ystävällisen ja kiireettömän ilmapiirin todetaan tukevan oppimista. Tilaratkaisulla varustettujen ja välineiden on mahdollista tukea opetuksen pedagogista kehittämistä ja oppilaiden aktiivista osallistumista. Tieto- ja viestintäteknologian kerrotaan olevan olennainen

osa monipuolista oppimisympäristöä. Monipuolisten työtapojen kerrotaan tuovan oppimisen iloa ja onnistumisen kokemuksia sekä tukevan eri ikäkausille ominaista luovaa toimintaa. [70]

Avointen oppimisympäristöjen toivotaan valmistavan oppilaita ja opiskelijoita tulevaisuuden työtehtäviin. Lisäksi oppimisyhteisön eli sosiaalisen läsnäolon kerrotaan muodostuvan avoimesta keskustelusta; vain avoimista keskusteluista voi muodostua merkityksellisiä, jolloin oppilaat ja opiskelijat kokevat, että he voivat luottamuksellisesti tuoda esiin keskeneräisiäkin ajatuksia ja tätä kautta kehittää omaa osaamistaan. Tämä sosiaalinen vuorovaikutus tulisi kytkeä ongelmanratkaisutilanteisiin hyödyntämällä opetusteknologiaratkaisuja. Perinteiset oppimisympäristön opetusmenetelmät perustuvat pääosin tiedonhankintametaforaan ja osallistumisnäkökulmaan. Tämä kuitenkin palvelee enimmäkseen opettajien opetustyötä eikä niinkään oppilaan yksilökeskeistä oppimista [57]. Hyvin toimivan oppimisympäristön mainitaan edistävän vuorovaikutusta, osallistumista ja yhteisöllistä tiedonrakentamista. Tilat, välineet, materiaalit ja kirjastopalvelut tulee olla oppilaiden käytössä siten, että ne mahdollistavat myös itsenäisen opiskelun. Koulujen ohella muita oppimisympäristöjä ovat esimerkiksi kirjasto, museot ja liikunta- ja taidekeskukset [70, 90].

2.4 Avointen oppimisympäristöjen akustiikka ja tilankäyttö

1960- ja 1970-luvuilla luokkahuoneiden muuttuessa avoimiksi oppimisympäristöiksi pedagoginen ajattelumalli muuttui, opetusmenetelmät muuttuivat ja tilat muuttuivat. Akustiikka uusissa tiloissa sitä vastoin perustui luokkahuoneiden tai avointen toimistojen malliin, vaikka tilat olivat akustiikan ja tilankäytön kannalta huomattavan erilaisia luokkahuoneisiin tai avotoimistoihin verrattuina [8, 15, 27].

Akustisesti suurimmaksi ongelmaksi osoittautui äänen leviämismuutoksen vähäisyys, joka johtui useimmiten tilanjakajien puutteesta mutta myös absorptioalan vähyydestä [1, 4, 28, 33, 35, 60, 72]. Tilanjakajien puuttuminen vaikutti myös visuaaliseen häiritsevyyteen [6]. Kun samaa tilaa käytti useita luokkia eikä absorptioalaa tai tilanjakajia ollut riittävästi, seurauksena oli toisaalta suuri äänitasotilan sisällä ja toisaalta heikko yksityisyyteen [33, 53]. Akustiikan osalta yksityisyys tarkoittaa sitä, että tarpeettomilla äänillä ei ole enää informaation sisältöä [4, 33].

Katon ääntä vaimentavan pinnan tärkeys alettiin tiedostaa 1960- ja 1970-luvuilla, mutta sen toteutuksessa oli usein puutteita [4]. Lattiapäällysteen tärkeydestä on ristiriitaisia esityksiä [4, 8]. Osasyynä avointen oppimisympäristöjen akustiikan epäonnistumiseen saattoi olla myös se avoimen oppimisympäristön akustiikan edellyttämien ratkaisujen ei haluttu kustantaa [72]. Vaikka akustiikkasuunnittelijoita olisi käytetty rakennushankkeissa, heillä ei välttämättä ollut vaikutusta seikkoihin, jotka olisivat voineet vaikuttaa lopputuloksen toimivuuteen: tärkeitä päätöksiä oli saatettu tehdä ilman tarkempaa suunnittelua tai ymmärtämistä ratkaisun vaikutuksesta rakennuksen akustiikkaan. Toisaalta rakennusurakan

aikaiset virheetkin ovat olleet mahdollisia. Rakennusvirheet ovat voineet olla suunnitelmien tulkintavirheitä ja materiaalien muutoksia akustisesti heikompiin [16]. Avoimissa oppimisympäristöissä tarpeellisia yksilöopiskeluun ja itsenäiseen oppimiseen suunnattuja tiloja on myös voitu jättää rakentamatta, jos tilat on suunniteltu vain ryhmäopiskeluun [35].

Akustisia ongelmia alettiin tutkia, kun ne tulivat tietoon 1960- ja 1970-luvuilla. Tutkimuksissa havaittiin opetusmenetelmien vaikuttavan tilan äänenpainetasoihin, sekä absorptiomateriaalien ja tilanjakajien tärkeys, tilanjakajien ilmaääneneristävyyden tärkeys, lattiapäällysteen materiaalin tärkeys, tilanjakajien korkeuden merkitys, avotoimistossa tuolloin jo käytössä olleiden peittoäänijärjestelmien hyöty, tilojen diversiteetin tarpeellisuus sekä äänilähteen suuntaavuuden merkitys [4, 33, 35, 37, 8]. Näiden lisäksi todettiin, että rakennuksen sijainti sekä rakennuksen ulkovaipan ääneneristys tulisi ottaa akustiikkasuunnittelussa huomioon, mikäli tähdätään erilaisten aktiviteettien tukemiseen erilaisissa tiloissa, sillä rakennuksen ulkopuoleiset äänitasot vaikuttavat ulkoseinien ääneneristyksen suunnitteluun [4, 14].

Tavanomaisten meluongelmien vähentämisen on esitetty olevan mahdollista psykologisesti tilan suunnittelulla, väreillä, valaistuksella, liikemäärien ratkaisemisella, toiminoilla, lattiamatolla sekä huonekaluilla [77]. Lisäksi tiedostettiin kalusteiden siirtelystä ja opetuksen apuvälineinä yleistyvien koneiden tuottama melu [35]. Peittoäänijärjestelmän eduksi todettiin myös mahdollisuus hälytyssignaalien ja esimerkiksi musiikin toistamiseen [74].

Amerikkalaisen tutkimuksen perusteella 10 % avoimista oppimisympäristöistä miellettiin täydellisiksi, kaksi kolmasosaa siedättäviksi tai huonommiksi. Tutkimusmenetelmiin lukeutuivat kirjallisuustutkimus, vierailut kouluihin ja niiden mittaukset sekä tietokonesimulaatiot [7]. Myöhemmin, 1970-luvulla avointen oppimisympäristöjen huoneakustiikkaa tutkittu myös pienoismallien avulla, joissa saatuja tuloksia on verrattu täyden kokoluokan loppulisiin tiloihin. Näitä on puolestaan verrattu myös laskennallisiin menetelmiin ja laskennallisiin tuloksiin [37].

Puheen yksityisyyden määrittämistä varten kehitettiin artikulaatioindeksi (AI), joka otti huomioon puheen voimakkuuden, taustaäänitason sekä tilan absorptiosta johtuvan jälkikaiunta-ajan [73]. Artikulaatioindeksin rajoiksi määritettiin $> 0,5$ opetustilan sisällä ja $< 0,2$ opetustilojen välillä. Artikulaatioindeksillä on arvioitu esim. kahden pohjapinta-alaltaan pyöreän opetusalueen välistä ilmaääneneristävyyden tarvetta sekä taustaäänitasotarvetta, kun opetusalueiden pohjapinta-alaa muutettiin [78]. Artikulaatioindeksin on todettu vastaavan hyvin tarkkailtuja subjektiivisia reaktioita kenttätutkimuksissa [73]. Eräässä tutkimuksessa on tehty myös johtopäätös, että äänitasojen ei tulisi ylittää 60 dB arvoa opetustilassa [64].

Avointen oppimisympäristöjen yleistyttyä uudelleen 2000-luvulla myös niitä koskeva tutkimus on virinnyt. Esimerkiksi vuonna 2015 on julkaistu tutkimus [53], jossa suoritettiin puheenselvyysskojeita oppilaille eri päiväkodeissa sijainneiden suljettujen luokkahuoneiden, kahden opetusryhmän oppimisympäristön, kolmen opetusryhmän oppimisympäristön ja kuuden opetusryhmän avoimessa oppimisympäristössä.

Luokkahuoneessa puheensiirtoindeksin STI arvo hiljaisten askareiden aikana oli noin 0,8 ja äänekkäiden aikana etäisyydestä riippuen 0,4–0,8. Kahden opetusryhmän avoimen oppimisympäristön puheensiirtoindeksien arvot olivat hyvin lähellä luokkahuoneen arvoja, mutta kolmen opetusryhmän oppimistilassa ero oli huomattava: hiljaisten toimintojen aikana puheensiirtoindeksi pieneni yhdestä kolmeen metriin äänilähteestä 0,8–0,4 ja äänekkäiden toimintojen vastaava pientyminen oli 0,7–0,05. Kuuden opetusryhmän avoimesta oppimisympäristöstä ei saatu mitatuksi hiljaisten toimintojen aikana puheenselvyyksiä etäisyyden suhteen, sillä aina jossain opetusryhmässä oli puhetta. Kolmen opetusryhmän avoimen oppimisympäristön puheensiirtoindeksien arvot olivat pienimmät etäisyyden suhteen, mikä johtui suurista melutasoista. Kuuden opetusryhmän avoimen oppimisympäristön tulokset olivat suhteessa paremmat verrattuna kahden ja kolmen opetusryhmän avoimiin oppimisympäristöihin, mikä johtui tilojen suunnittelusta; kuuden opetusryhmän avoin oppimisympäristö oli suunniteltu vastaamaan nykypäivän avoimen oppimisympäristön tarpeita, kun taas kahden ja kolmen opetusryhmän avointen oppimisympäristöjen tilaratkaisut oli toteutettu lähinnä poistamalla ryhmien väliset alkuperäiset väliseinät. Tutkimuksen tuloksena todettiin, että avoimissa oppimisympäristöissä, joissa opetusryhmien välistä melua ei pystytä kontrolloimaan, ei tarjota riittävää ääniympäristöä keskittymistä vaativille toiminnoille. [53]

Isossa-Britanniassa on vuonna 2015 julkaistun avointen oppimisympäristöjen suunniteluohje. Sen mukaan avoimen oppimisympäristön pohjapiirustuksesta tulisi näkyä opettajien suunnitellut ohjeitten, esitelmien ja muiden vastaavien opetustehtävien esityspaikat. Tämän lisäksi piirustuksesta tulisi näkyä kalustesuunnitelma sekä maksimikommunikointietäisyydet. Toimintasuunnitelman tulisi sisältää opetusryhmien lukumäärät, koot ja sijainnit opetusryhmille, joissa suunnitellaan toteutettavan keskittymistä vaativaa oppimista kuten esitelmää, ryhmätöitä ja seminaareja. Lisäksi tulisi esittää, missä keskittymistä vaativia tehtäviä suoritetaan samanaikaisesti. Edelleen tulisi esittää alueet, joilla on suunniteltu tehtäväksi yksilö- ja paritöitä. Opetusryhmiä jakavien seinäkkeiden tai muiden tilanjakajien tulisi olla mahdollisimman korkeita. Jos tilanjakajien ja seinän väliin jää rakoja tai käytäviä, seinille suositellaan asetettavaksi absorptiomateriaalia. [14]

2.5 Toiminnasta aiheutuvat äänitasot avoimissa oppimisympäristöissä

Tutkimuksissa on osoitettu opetustilaisuuden sisällön sekä aktiivisuuden vaikuttavan keskeisesti syntyvään äänenpainetasoon opetustilassa [5, 18]. Vuonna 2011 julkaistussa tutkimuksessa osittain avoimien oppimisympäristöjen keskiäänitasoksi $L_{A,eq}$ saatiin frontaaliopetukselle 47 dB ja ryhmätöiden ja liikkumista vaativien tehtävien aikana arvoiksi saatiin 53 ja 57 dB [18]. Muissa tutkimuksissa hiljaisia aktiviteetteja sisältävän ajan äänitasoksi on mitattu 45–49 dB ja aktiivisen toiminnan äänitasoiksi arvoja aina 66 dB asti [18]. Vuosina 2003 ja 2005 on mitattu osittain avoimien oppimisympäristöjen keskiäänitasoja, kun tiloja erottavana rakenteena on käytetty väliseinää, lattia on päällystetty matolla ja katto on vaihtelevasti päällystetty ääntä absorboivalla materiaalilla. Tällöin keskiäänitasot oppimispesissä ovat olleet 62–66 dB. Taulukossa 2.1 on esitettyä lisää eri tutkimustulosten keskiäänitasoja eri aktiviteettien ja tilojen suhteen. [5]

Taulukko 2.1. Eri tutkimuksissa mitattuja oppimistilojen keskiäänitasoja tilatyypin ja aktiivisuuksien suhteen. [5]

Tutkimus, vuosi	Mitatut luokat, kpl	Keskiäänitaso [dB]	tilatyyppi
Airey, 1995 MacKenzie, 1999	14	57	Peruskoululuokka, oppilaat hiljaa
		72	Peruskoululuokka, oppilaat työskentelevät
		64	Peruskoululuokka, opettaja puhuu
School Sound Level Study, 1986	36	63	Täysin avoin alakoulutila, erittäin aktiivinen oppitunti
		62	Täysin avoin yläkoulutila, erittäin aktiivinen oppitunti
Finitzo-Hieber, 1981	-	66 - 73	Täysin avoin oppimistila, 100 oppilasta, 10 opettajaa
Yerges, 1976	5	55	Täysin avoin oppimistila, normaaleja luokka-aktiviteetteja
Walsh, -	-	44 - 62	Täysin avoin lukiotila matolla ja absorboivalla alakatolla
		54 - 67	Täysin avoin lukiotila matolla ja heijastavalla alakatolla
Kyzar, 1971	4	61	Täysin avoimia oppimistiloja

Taulukossa 2.1 esitetyt oppimistilojen äänitasot voidaan mieltää luonteeltaan myös meluksi, joka tarkoittaa tarpeetonta, häiritsevää tai haitallista ääntä. Melutason kasvu vähentää puheenselvyyttä etäisyyden suhteen, mikä vähentää opettajan puheenerotettavuutta oppilaiden kannalta ja päinvastoin. Toisaalta melu voidaan luokitella myös taustäänneksi tai taustameluksi [6]. Joka tapauksessa melulla on ominaisuus nostattaa puhujan äänen voimakkuutta melutason noustessa. Efekti alkaa 40 dB taustamelutason kohdalla ja puhujan ääni voimistuu 5 dB kutakin 10 dB taustamelutason nousua kohti [23]. Tätä ilmiötä kutsutaan Lombardin efektiksi. Jos tarkastellaan näin ollen puheäänien äänenpainetason

muutosta standardoidun normaaliäänen avulla [83], taustamelun keskiäänitason $L_{A,eq}$ ollessa 40 dB puheen äänenpainetaso on metrin päässä äänilähteestä noin 60 dB. Kun taustamelutaso on 60 dB, puheen äänenpainetaso metrin päässä olisi noin 70 dB ja 70 dB taustamelutasolla 75 dB. Puheen äänenpainetason suhde taustääni- tai taustamelutasoon vaikuttaa puolestaan akustisten puheenselvyyksifunktioiden signaalikohinasuhteeseen, jonka pieneneminen puolestaan tulkitaan puheen selvyuden pienenemiseksi [61].

Avointen oppimisympäristöjen äänitasoja ja häiritsevyyttä koskevassa tutkimuksessa on mittaustulosten perusteella havaittu suoria verrannollisuuksia äänitasojen, luokkakoon, oppilaiden iän ja tilojen viimeistelyn välillä. Melun häiritsevyyden subjektiivisten vaikutusten on havaittu olevan verrannollisia taustäänitason ja äänitasohuippujen vaihteluiden kanssa. [15]

Melutaso vaikuttaa lasten oppimiseen. Opetustilojen suurimmat äänitasot tuottavat äänilähteet ovat oppilaat itse ja tämän oppilaat myös kokevat häiritsevimpänä meluna. Pienimpien lasten luokat tapaavat olla meluisimpia; samalla pienimmät lapset häiriintyvät enemmän melusta [51]. Lasten heikompi puheenymmärtäminen johtuu kuulon kehittymisestä, joka saavuttaa aikuisen kuulotason noin 15 vuoden iässä [53]. Tämän vuoksi on nähty tarpeelliseksi kysyä lapsilta itseltään, kuinka he kokevat melun, kuin luottaa pelkästään opettajien arvioihin. Korkeat äänitasot eivät pelkästään vaikuta lasten puheen ymmärtämiseen vaan myös psykososiaalisiin saavutuksiin, kuten puheen ja kirjoituksen ymmärtämiseen, havainnointiin, keskittymiseen, käyttäytymiseen ja ahdistuneisuuteen. Huonot akustiset olosuhteet ja melu voivat johtaa oppilaiden huomion kiinnittymisen keskeytymiseen ja tehtävien luovuttamiseen etenkin äänitason noustessa. Erikoisopetusta tarvitsevat oppilaat kärsivät äänitasojen kasvusta vielä herkemmin; tämä koskee etenkin lukihäiriöisiä, kuulovaurioisia ja vieraskielisiä oppilaita unohtamatta muuten vain melulle herkempiä yksilöitä [51].

Hiljattain on tutkittu melun vaikutusta oppilaiden ja opettajien suoriutumiseen avoimessa oppimisympäristössä. Aihetta on yleisesti ottaen tutkittu vähän. Tutkimusmenetelmänä on käytetty kyselyä niin oppilaille kuin opettajille. Kyselyyn otettiin tilojen puolesta tarkasteluun luokkahuone, kahden luokan avoin oppimisympäristö, kolmen luokan avoin oppimisympäristö ja kuuden luokan avoin oppimisympäristö. Tiloissa oli eri-ikäisiä oppilaita. Oppilaiden kyselyssä kysyttiin, mitä ääniä he kuulevat tilassa (liikennemelu, ulkona olevat oppilaat, ilmastointi, tietokoneet/taulutietokoneet, televisiot/älytaulut, muiden opetusryhmien oppilaat, muiden opetusryhmien opettajat) sekä kuinka hyvin he kuulivat oman opettajansa, kun tila oli joko hiljainen, viereiset opetusryhmät työskentelivät omilla alueillaan, viereiset opetusryhmät tekivät ryhmätöitä ja liikkuivat, ulkoa kuului melua, oppilaat eivät nähneet oman opettajansa kasvoja ja kun oppilaiden oma ryhmä oli äänekäs. [51, 52]

Häiritsevimmiksi melun lähteiksi oppilaat kokivat muiden opetusryhmien oppilaat, ulkona olevat oppilaat ja muiden opetusryhmien opettajat, tässä järjestyksessä. Kolmen luokan/opetusryhmän avointen oppimisympäristöjen oppilaat mielsivät keskimäärin kaikki äänet häiritsevimmiksi, kuin muiden tilatyypin. Parhaiten oppilaat kuuluivat opettajansa, kun opetusryhmät olivat hiljaa ja huonoiten, kun muut opetusryhmät työskentelivät ja liikkuivat. Parhaiten opettajansa kuuluivat luokahuoneiden ja kuuden opetusryhmän avoimen oppimisympäristön oppilaat. Yhdessä opetusryhmässä oli 25–50 oppilasta. [51]

Saman tutkimusryhmän toteuttamassa opettajien kyselyssä [52] kysyttiin opetusmenetelmistä, opetusetäisyyksistä, opetustilan ominaisuuksista, melulähteistä sisällä ja ulkona, puhekommunikaatiosta opetustilassa, selviytymismetodeista melun suhteen sekä ennakoluulojen toteutumisesta avoimissa oppimisympäristöissä ja luokahuoneissa. Opetusmenetelmistä opettajat suosivat eniten ryhmätöitä ja yksin tehtäviä töitä, tässä järjestyksessä. Kuulemisen kannalta parhaiksi valikoitui luokahuone, kahden opetusryhmän avoin oppimisympäristö, kuuden ryhmän avoin oppimisympäristö ja kolmen ryhmän avoin oppimisympäristö, tässä järjestyksessä. Häiritsevimmiksi ääniksi koettiin tilasta riippuen ilmastointi (luokahuone), toisten opetusryhmien opettajat (kahden ja kolmen opetusryhmän avoimet oppimisympäristöt) ja toisten ryhmien oppilaat (kolmen opetusryhmän avoin oppimisympäristö). Ulkona olevat oppilaat koettiin tilakohtaisesti toiseksi tai kolmanneksi häiritsevimmiksi ja kuuden opetusryhmän avoimessa oppimisympäristössä ilmastointi, opetusvälineet, muut opetusryhmät ja ulkona olevat oppilaat koettiin yhtä häiritseviksi. [52]

Opetusmenetelmistä kommunikaation kannalta helpoimmaksi koettiin keskimäärin oppilaan kanssa kahden keskeinen keskustelu ja vaikeimmaksi koko ryhmän kanssa keskustelu. Melun suhteen opettajat käyttivät menetelmään eniten äänen korottamista ja ryhmän kokoamista, ja seuraavaksi eniten keskimäärin tasaisesti toimintojen aikataulusuunnittelua, istumajärjestyksen muuttamista, toiminnan vaihtoa ja visuaalisia merkkejä. Tuloksista havaittiin myös puheäänien voimistamisen aiheuttavan ääniongelmia avoimissa oppimisympäristöissä. Opettajat olivat tyytyväisimpiä kahden opetusryhmän avoimessa oppimisympäristössä ja tyytymättömiä kolmen opetusryhmän avoimessa oppimisympäristössä. [52]

Toisessa tutkimuksessa [6] eri melulähteiden häiritsevyydestä oppilaiden kannalta on saatu tulokseksi, että toiset oppilaat häiritsevät eniten ja opettajat toiseksi eniten. Tilan ollessa hiljainen opettajan kuuleminen on helpointa ja oppilaiden työskennellessä ja liikkuessa vaikeinta. Oppilailta on myös kysytty eri kouluissa, mikä ääni mahdollisesti häiritsee heitä eniten kommunikaation suhteen. Eniten häiritseväksi osoittautui toisten oppilaiden puhe ja seuraavaksi opettajan puheen pieni äänitaso; yhdessä koulussa huomattava ongelma oli ulkoa kuuluva melu. Oppilaista 66 % mielsi avoimen oppimisympäristön hankalimmaksi tilaksi kuulla toisen puhetta ja 58 % ilmoitti, ettei pidä avoimesta oppimisympäristöstä. [6]

Opettajat kokivat vaikeimmaksi puhua avoimessa oppimisympäristössä tilan kaiuntaisuuden, suuruuden ja oppilaiden tuottaman melun vuoksi, tässä järjestyksessä [5]. Yhdessä koulussa koettiin ongelmaksi myös ulkoa kuuluva melu. Koulusta riippuen opettajista noin 38–58 % kärsi äänenmuodostuksen ongelmista; lisäksi heillä oli ongelmia tinnituksesta. Sopivaksi taustäänitasoksi osittain avoimeen oppimisympäristöön todettiin 35 – 40 dB (ei sisällä opetustilaisuudesta aiheutuvaa melua), jolla voidaan peittää vierekkäisten opetusryhmien puhetta ja kontrolloida melutasoa puheenselvyyden kannalta. [6]

2.6 Ääniergonomia avoimissa oppimisympäristöissä

Ääniergonomisia tutkimuksia avoimista oppimisympäristöistä on verrattain vähän. Isosta-Britanniasta ääniergonomian osalta on tuloksia ääniongelmiin suhteen [6]. Suomessa ääniergonomiaa ei ole ehditty tutkia vielä ollenkaan avoimissa oppimisympäristöissä [25]. Sen sijaan luokkahuoneissa työskentelevien opettajien ääniergonomiaa on tutkittu kattavasti.

Suomalaisissa tutkimuksissa on luokkahuoneiden ääniergonomian suhteen todettu, että suuri osa opettajista kärsii äänentuottoon liittyvistä ongelmista, mikä johtuu joko sisäilmasta tai luokkatilan puutteellisesta akustiikasta tai mahdollisesti molemmista. Suomalaisissa kouluissa yli 80 %:ssa on huono ilman vaihto ja yli 50 %:ssa esiintyy kosteusvaurioita [84]. Äänenkäytön ongelmista eli äänihäiriöistä opettajilla esiintyy äänen rasittumista tai väsymistä 30 %:lla päivittäin ja 40 %:lla viikoittain, äänen madaltumista tai käheytymistä 30 %:lla päivittäin ja viikoittain, sekä yskää tai rykimistä 30 %:lla päivittäin ja 20 %:lla viikoittain. Aiemmissä tutkimuksissa on opettajilla todettu ilmenevän ääniongelmiä viikoittain 12 - 34 prosentilla [84, 85, 86, 87].

Neljätoista koulua ja 40 luokkahuonetta kattavassa ääniergonomiatutkimuksessa [23] on tutkittu koulujen opettajia (n = 40) ja oppilaita (751). Taustäänitasojen keskiäänitaso luokkahuoneissa oli koulutyön aikana 69 dB, jota on luonnehdittu korkeaksi puhumisen ja puheen kuulemisen kannalta. Suurin ääniergonominen riskitekijäluokka oli toimintakulttuuri, jonka jälkeen toisena oli sisäilman laatu ja kolmantena työskentelyasento. Sisäilman laadun osalta selvitettiin mm. pölyisyyttä, tunkkaisuutta ja ilmankosteutta ja lämpötilaa. Mitä enemmän luokassa oli ääniergonomisia riskitekijöitä, sitä useammin opettaja koki äänioireita. Opettajilla äänioireista eniten oli esiintynyt vuoden aikana äänen väsymistä (54 %) ja kurkun selvittämistä (41 %).

Häiritsevimmäksi meluksi tutkimuksessa koettiin oppilaiden puhe, käytävämelu, pulpettien siirtely ja melu viereisistä luokista, tässä järjestyksessä. Näitä melulähteitä opettajista kuuli samaisessa järjestyksessä laskevasti 100–67 %. Johtopäätöksenä on esitetty, että melutasoon tulisi vaikuttaa hyvällä ääneneristyksellä, melua vaimentavalla akustiikalla, ilmanvaihdolla, laitteiden alhaisilla melutasoilla ja hiljaisella toimintakulttuurilla. Oppi-

laiden keskittymisen ja käyttäytymisen osilta ongelmat näyttävätyivät eniten tarkkaamattomuutena, yliaktiivisuutena ja levottomuutena. Luokkahuoneiden akustiikan todettiin olevan puutteellinen toimintaan nähden. [23]

Työterveyslaitos on julkaissut teoksen ”Ääniergonomia, toimiva ääni työvälineenä”, jonka tarkoitus on antaa lukijalleen tietoa äänentuotosta, äänihäiriöistä, äänihäiriön riskeistä ja tavoista välttää riskejä. Lisäksi kirjassa on kyselypohja, jonka avulla voi kartoittaa omia mahdollisia äänihäiriön riskejä sekä äänioireita. [24]

Sähköisellä äänentoistojärjestelmällä voidaan vähentää opettajien äänen rasittumista luokkahuoneissa, mutta järjestelmään ilmaantuessa vika opettaja joutuu korottamaan ääntään. Äänentoistojärjestelmää käytettäessä opettajat tulisi perehdyttää systeemin toimintaan, jolloin saadaan optimoitua järjestelmän hyödyllisyys. [31]

2.7 Opetustilan akustiikan suunnittelu

2.7.1 Avointen oppimisympäristöjen akustiikan mallintaminen

Akustiikkasuunnittelussa voidaan nykyään käyttää hyväksi tietokoneavusteista mallintamista. Mallinnuksessa tiloista luotaan kolmiulotteisia malleja, joista lasketaan tarvittavat mittasuureet joko aaltoihin tai säteiden seurantaan perustuvilla mallinnusmenetelmillä. Tavoitteita suunnittelulle on asetettu säädöksissä, ohjeissa, standardeissa ja käsikirjoissa.

Japanissa on tutkittu osittain avointen oppimisympäristöjen opetustilojen välistä äänen leviämismuunnosta erilaisilla tilamuodoilla. Mallinnus on perustunut numeraaliseen FDTD-analyysiin. Opetustilojen pohjapinta-alat olivat 8,0 m x 8,0 m näiden välissä oli seinä, jonka pituus oli 8,0 m. Käytävän leveys oli joko 4,0 m tai 8,0 m. Yhdessä mallissa opetustilojen välinen etäisyys oli 8,0 m sekä yhdessä mallissa toinen opetuspesä oli 16,0 m pituudeltaan. Alakaton absorptiokertoimen arvolla oli noin 5–10 dB vaikutus tuloksiin toisen opetustilan puolella; viereisen opetustilan keskellä 0,8 absorptiokertoimen omaavalla alakatolla tuli äänenpainetaso arvoksi noin 70–75 dB, kun viereisessä opetustilassa äänilähde sijaitsi opetustilan keskellä ja se tuotti ääntä 100 dB. Parhaaseen tulokseen päästiin, kun käytävän seinä linjattiin vinoon kymmenen asteen kulmaan, jolloin äänenpainetaso viereisen tilan keskellä pieneni noin 4,4 dB aikaisemmista luvuista. Opetustilojen välisen käytävän kaventaminen heikensi tulosta ja käytävän pidentäminen paransi tulosta. [2]

Avointen oppimisympäristön huoneakustista mallintamisen tarpeellisuutta ja menetelmiä käsitellään Iso-Britanniassa julkaistussa koulujen akustiikkasuunnitteluohjeessa. Ohje jakaa avoimet oppimisympäristöt kolmeen riskiluokkaan: vähäriskiseen, riskialttiiseen ja erittäin riskialttiiseen. Vähäriskisen osalta tilojen sisäisen puheenselvyyden tarkastelu ei ole välttämätöntä, kun taas riskialtis tila suositellaan huoneakustiikkamallinnettavan ja erittäin riskialttiit tilat kehoitetaan ehdottomasti mallinnettavan. Riskiryhmien pääjako on

seuraava: yhden opetusryhmän tila kuuluu vähäriskiseen ryhmään, kahden ja kolmen opetusryhmän tila riskialttiiseen ja neljän tai useamman opetusryhmän tila kuuluu erittäin riskialttiiseen ryhmään. Ehdottomasti mallinnettavaan ryhmään kuuluvat myös tilat, jossa on yli neljä itsenäisesti opettavaa opettajaa, oppilaskohtainen lattiapinta-ala on vähemmän kuin kolme neliometriä, oppilaat ovat eri-ikäisiä, kriittisen kuuntelun tarve on jatkuvaa, opetusryhmissä on samanaikaisia aktiviteettejä, kommunikaatioetäisyys on yli neljä metriä, koulurakennuksen laajamittainen käyttö kuuluu keskeisesti opetusmenetelmiin ja tilassa on äänen selvyuden kannalta erityisoppilaita.

Huoneakustisella mallintamisella tulisi tuottaa etenkin tuloksia puheensiiroindeksin arvosta tilassa. Tarkasteltavia tilanteista ovat oppilaan kuunteleminen opettajan puhuessa, opettajan kuunteleminen oppilaan puhuessa ja oppilaiden keskinäinen keskustelu. Opettajan mallinnuskorkeus tulisi olla 1,65 m ja oppilaiden 0,8 m, 1,0 m tai 1,2 m riippuen siitä, ovatko oppilaat esikoululaisia, alakoululaisia vai yläkoululaisia, tässä järjestyksessä. Äänilähteet ja vastaanottajat tulee mallintaa pistemäisinä. Opettajien ja oppilaiden välinen keskustelu tulisi mallintaa käyttäen korotetun äänen äänitehotasoja tai äänenpainetasoja yhden metrin etäisyydellä puhujasta ja oppilaiden keskinen puhe normaalin äänen spektrillä poikkeuksena suuret ryhmät, joissa voi olla keskimäärin neljä oppilasta äänessä samaan aikaan. Tällöin tulee mallintaa oppilaiden puhe korotettuna äänenä. Puheensiiroindeksit tulisi ilmoittaa mallinnettujen oppilaiden kesken minimi- ja maksimiarvona. Puheensiiroindeksin tulokset tulisi pyöristää 0,05 tarkkuudella. Taustäänitasoina huoneakustisissa laskelmissa tulisi käyttää aktiivisuuksien mukaisia äänitasoja, jotka ovat esitettynä taulukossa 2.2. Huoneakustisissa malleissa tilanjakajien tulisi olla suunnitelluilla sijainneillaan 5,0 cm tarkkuudella. [14]

Taulukko 2.2. Suositellut taustäänitasot avointen oppimisympäristöjen huoneakustiikkamallinnuksiin oktaavikaistoittain. Lukemat ovat äänenpainetasoja desibeleinä.

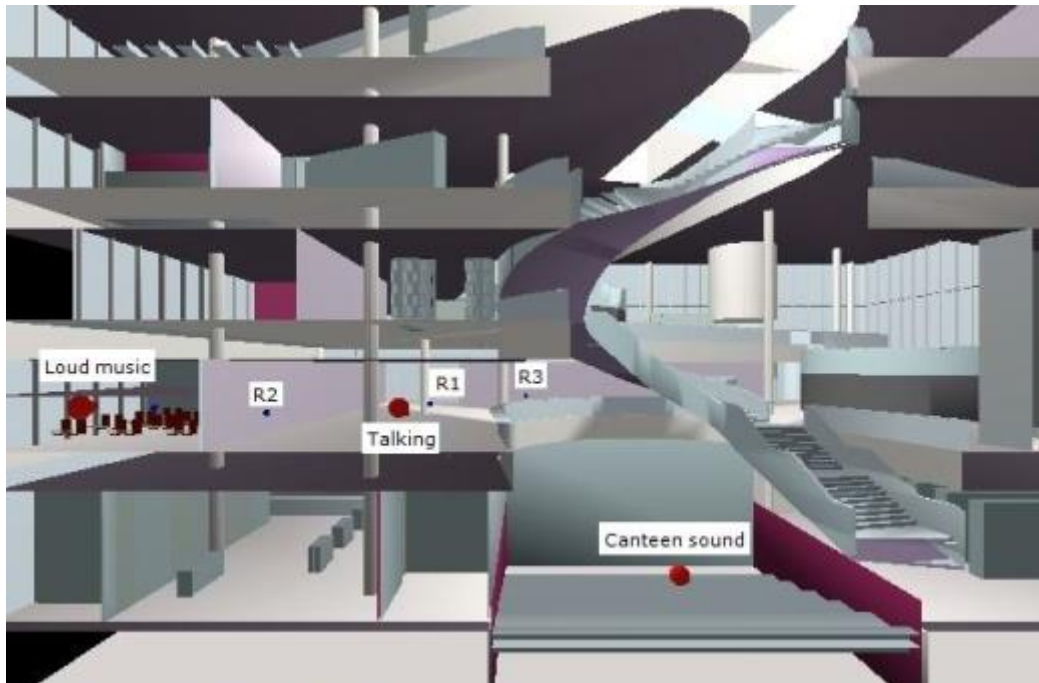
f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Oletus avoimelle oppimisympäristölle	62	62	62	62	57	52	47
Ruokailutila	61	65	69	69	61	51	40
Normaalipuhe	55	65	69	63	56	50	45
Korotettu ääni	59	70	75	72	64	57	48
Hiljaiset tehtävät	30	32	32	30	28	26	20

Tilanjakajien osalta huoneakustisia mallinnustuloksia on olemassa seinäkkeistä, joille on myös laadittu matemaattinen malli kanadalaisten Wangin ja Bradley'n käsialana [12]. Avotoimistojen akustiikkasuunnittelua varten on esitetty yksinkertainen malli, jonka osana on seinäkkeiden vaikutuksen laskeminen. Tässä laskentamallissa otetaan huomioon seinäkkeen korkeus, leveys, ilmaääneneristävyys ja äänilähteen sekä vastaanottimen etäisyydet seinäkkeeseen, joita käytetään seinäkkeen läpi etenevän äänen, seinäkkeen si-

vuista ja päältä taittuvan äänen ja sivuseinistä sekä katosta heijastuvan äänen laskemisessa, jota lasketaan äänenpainetasona. Äänen etenemisreitit summataan logaritmisesti yhteen lopullisen vastaanottopisteen äänenpainetason saamiseksi. [12, 17, 91]

Seinäkkeisiin liittyen on tutkittu laskennallisesti äänilähteen ja vastaanottimen etäisyyksien vaikutusta seinäkkeen molemmin puolin, erilaisten alakattojen vaikutusta sekä seinäkkeen korkeutta ja leveyttä. Mittaamalla on tutkittu seinäkkeiden välisten rakojen vaikutusta sekä seinäkkeen ja lattian välisen raon vaikutusta vastaanottopisteen äänenpainetasoon. Seinäkkeiden korkeudesta on todettu, että seinäke on tehokas vain, kun äänilähde ei ole näkyvässä vastaanottopisteessä. Äänilähteen ja vastaanottimien siirtämisellä ei ole merkittävää vaikutusta vastaanottopisteen äänitasoon, kun äänilähteen ja vastaanottimen välinen etäisyys pysyy vakiona. Sen sijaan seinäkkeen korkeudella on huomattu olevan vaikutusta vastaanottopisteen äänenpainetasoon. Kahden senttimetrin raon on todettu heikentävän seinäkkeen äänenvaimennusta enintään 5 dB vaikutuksen kasvaessa taajuuden kasvaessa. Kahden senttimetrin rako seinäkkeen ja lattian välissä heikentää äänenvaimennusta enintään 2,5 dB ja kolmenkymmenen senttimetrin rako enintään 17 dB.

Case-tapaus huoneakustiikkamallinnusohjelman käytöstä avointen oppimisympäristöjen suunnittelussa on esitetty lähteessä [34]. Esimerkissä mallinnettu kohde on tanskalainen yläkoulu. Rakennus on monikerroksinen ja kaikki kerroksen aukeavat rakennuksen keskellä olevaan aulaan, joka on avoin kattoon asti ja jossa on myös kerroksiin johtavat portaat (kuva 2.6).



Kuva 2.1. Esimerkki avoimen yläkoulun huoneakustisen mallin poikkileikkauksesta sekä auralisointiin käytettyjen äänilähteiden sijainteja. Pienet siniset pisteet R1–R3 ovat vastaanottopisteitä. [34]

Huoneakustisessa mallintamisessa mallin pinnoille annetaan materiaaliominaisuudet. Pinnoille on myös mahdollista antaa sirontakertoimen arvo, joka satunnaistaa heijastuvan äänen suuntaa. Tutkimuksessa käytetty huoneakustiikan mallinnusohjelma perustuu säteenseurantamenetelmään, jossa tarkastellaan äänilähteestä lähteviä säteitä, joilla pyritään mallintamaan ääniaaltoja. Laskenta tapahtuu myöhäisten heijastuksien suhteen, jossa säteen äänienergia pienenee aina heijastuksessa materiaalin absorptio-ominaisuuden verran. Huoneakustiikan mallinnusohjelmilla on myös mahdollista auralisoida mallinnettuja ja laskettuja tiloja, joka tarkoittaa lasketun impulssivasteen yhdistämistä haluttuun äänisignaaliin, jolloin voidaan kuunnella simuloitua tulosta. [34]

2.7.2 Luokkahuoneen akustiset suunnittelukriteerit

Luokkahuoneen suunnittelussa tulee ottaa huomioon puheen selvyys tilassa, tilan jälkikaiunta-aika, luokkahuoneiden seinien ilmastöeneristävyydet sekä askeläänitasoluku. Kansallisessa standardissa SFS 5907 on esitetty näille ohjearvot akustiikkaluokasta riippuen (A, B, C, D); minimiluokka on C ja sitä täyttämättömät kohteet luokitellaan luokkaan D. Luokkahuoneen seinän ilmastöeneristävyydelle on esitetty vaatimukset sen suhteen, minkälainen tila seinän toisella puolella on; musiikkiluokalla on tiukin vaatimus. Pienin vaatimus on kahden luokkahuoneen välisellä seinällä, kun seinässä on ovi. Askeläänitasoluvun vaatimus luokkahuoneesta toiseen on 63 dB. Jälkikaiunta-ajan vaatimus luokkahuoneessa on 0,5 – 0,8 s, riippuen akustiikkaluokasta. LVIS-laitteiden suurimmat sallitut äänitasot ovat suunnitteluluokasta riippuen A-painotettuna 28, 33 tai 38 dB. Ulkopuoleinen melu saa aiheuttaa luokkahuoneeseen 30 tai 35 dB A-painotetun äänitason suunnitteluluokasta riippuen. Puheensirtoindeksin vaatimuksena akustiikkaluokissa A ja B on luokkahuoneen sisällä $\geq 0,8$ ja luokassa C $\geq 0,7$. Mikäli puheen selvyydelle on erityistarpeita, tulee A- ja B-luokissa tavoittaa vähintään 0,85 ja C-luokassa vähintään 0,75. Taulukossa 2.3 on esitetty muiden tilojen puheenselvyyssarvoja. [81]

Taulukko 2.3: Puheensirtoindeksin subjektiivinen merkitys puhetiloissa.

STI alue	Puheen erotettavuus	Esimerkkejä tiloista
Alle 0,30	Kelvoton	
0,30 – 0,45	Huono	Vanha kirkko
0,45 – 0,60	Välttävä	Kaikuisa auditorio tai konserttisali
0,60 – 0,75	Hyvä	Hyvin suunniteltu suuri auditorio
Yli 0,75	Erinomainen	Hyvin suunniteltu luokkahuone tai pieni auditorio

Standardissa SFS 5907 ohjeistetaan luokkahuoneen absorptiomateriaalien sijoittelua siten, että katon keskiosaa suositellaan jätettävän kovapintaiseksi, jotta ääntä heijastuisi luokan edessä puhuttaessa myös luokan takaosiin. Absorptiomateriaaleja tulisi sijoittaa katon laitaosille sekä seinäpinnoille. Seinäpinnoille sijoittamisella estetään vaakasuuntaisten kaikukenttien syntymistä. [81]

Äänenpainetasojen yhteydessä monesti tuloksia ja mittalukuja ilmoitetaan A-painotettuina. Äänenpainetaso itsessään kuvaa fysikaalista äänenpaineen voimakkuutta, joka on mitatun/vallitsevan paineen ja referenssipaineen välinen logaritminen suhde. Referenssipaineen suuruus on 20 μPa . A-painotuksella pyritään ottamaan huomioon kuulon subjektiivinen käyttäytyminen, sillä ihmisen kuulo ei ole herkkä koko kuulon taajuusalueella, vaan herkimmän kuulon alueen 2000 – 5000 Hz molemmin puolin herkkyys alenee. A-painotusta käytetään siten, että se summataan mitattuun äänenpainetasoon. Oktaavikaistainen A-painotus on esitettyinä taulukossa 2.4. [62]

Taulukko 2.4: A-painotus oktaavikaistoittain [62].

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
A-painotus [dB]	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	-6,6

2.7.3 Avoimen oppimisympäristön akustiset suunnittelukriteerit

Avointen oppimisympäristöjen akustiset mittaluvut ovat osittain samoja kuin luokkahuoneiden, mutta erojakin on. Tarkastellaan seuraavaksi avoimiin oppimisympäristöihin liitettäviä mittalukuja ja selvitetään, millaisia suositusarvoja näiden suhteen on jo olemassa. Mainittakoon, että Suomessa ei toistaiseksi ole vähimmäisvaatimuksia tai standardeja avointen oppimisympäristöjen akustiikan suhteen [11, 76].

T_{60} , T_{30} , T_{20} – Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-ajalla tarkoitetaan 60 dB äänenpainetason pienenemiseen kuluva aikaa äänilähteen äänentuotannon loputtua. Tässä tutkimuksessa mitattavista tiloista johtuen on mielekkäämpää tarkastella jälkikaiunta-aikaa pienemmällä äänenpainetasovälillä, joka on 20 dB, sillä pidemmällä etäisyyksillä 60 dB äänenvaimenemisen saavuttaminen vaatisi äänilähteeltä suurta äänitehotasoa. T_{20} vastaa äänenpainetason vaimenemista väliltä 5–25 dB. Käytettävä vaimenemisväli ilmoitetaan alaindeksillä jälkikaiunta-ajan tunnuksen jälkeen. [82]

Jälkikaiunnan suositusarvoksi on esitetty osittain avoimille oppimisympäristöille 0,3–0,4 [41]. Australian ja Uuden-Seelannin standardeissa on esitetty jälkikaiunta-ajan ohjearvoksi 0,4 s – 0,5 s. Norjassa, Ruotsissa ja Islannissa ja Tanskassa jälkikaiunta-ajan tulee olla alle 0,4 s. Arvot koskevat kalustettuja tiloja. Ruotsissa on annettu arvo toisen asteen

kouluille, eikä peruskouluja varten ole esitetty omaa vaatimusta. Britannian vaatimus jälkikaiunta-ajalle on enintään 0,8 s, joka on kalustamattomille tiloille. [11, 52]

AI – Artikulaatioindeksi

1970-luvulla käytetty puheenselvyyden mittaluku. Alkuperäinen teoria esitettiin 1950-luvulla. Artikulaatioindeksin arvoväli on 0–1. Artikulaatioindeksi voidaan laskea kahdenkymmenen taajuuskaistan menetelmällä, terssikaistaisella menetelmällä tai oktaavikaistaisella menetelmällä. Artikulaatioindeksin laskennassa otetaan huomioon taustäänitaso, puhesignaalin häiriöt, jälkikaiunta-aika sekä visuaaliset vihjeet, joita voi olla esimerkiksi huulten liikkeen näkeminen puheessa. [29,40]

SII – Puheen ymmärrettävyydsindeksi

SII eli puheen ymmärrettävyydsindeksi on amerikkalainen puheenselvyyden mittasuure, jonka arvoväli on 0–1. Puheen ymmärrettävyydsindeksin saadessa arvoja $\geq 0,75$ mielletään kommunikaatio-olosuhteet hyväksi. Huonoksi kommunikaatio-olosuhteeksi puolestaan tulkitaan arvot $\leq 0,45$. Puheen ymmärrettävyydsindeksi on esitetty amerikkalaisessa standardissa ANSI S3.5-1997, josta uusin tarkastettu versio on vuodelta 2012. [3]

STI – Puheensiirtoindeksi

Puheensiirtoindeksi on määritelty standardissa IEC 60268-16 (2003). Puheensiirtoindeksin STI laskennassa käytetään modulaatiosirtofunktiota (MTF). Modulaatiosirtofunktio tarkoittaa sitä, kuinka signaalin esimerkiksi oktaavikaistoittain laskettu verhoikäymodulaatio säilyy tai muuttuu lähteestä vastaanottajalle. Modulaatiosirtofunktio ei kuitenkaan yksistään käsiteltynä ole puheen ymmärtävyyden mitta. Tällä voidaan laskennassa ottaa huomioon jälkikaiunta-ajat sekä vallitseva taustäänitaso; jälkikaiunta-aika vaikuttaa enemmän suurilla kuin pienillä modulaatiotaajuuksilla ja se hidastaa laskentaa käytettävän verhoikäyrän muutosnopeutta toimien modulaation alipäästösuodatuksena. Taustäänitaso nostaa modulaatioverhoikäyrän tasoa [61].

Modulaatiosirtofunktio voidaan mitata periaatteessa millä tahansa testisignaaleilla, jossa on riittävästi energiaa koko kuulon alueella ja modulaatioita kaikilla kiinnostavilla modulaatiotaajuuksilla. Parhaiten tehtävä onnistuu sitä varten suunnitelluilla testisignaaleilla ja tarkoituksenmukaisilla laitteilla. Suoraviivainen tapa mitata modulaatiosirtofunktio on käyttää kaiutinta tai keinosuuta huoneessa tai salissa puhujan paikalla, syöttäen äänilähdettä 100 % amplitudimoduloidulla kohinalla

Modulaatiosirtofunktion laskennassa vastaanotettu signaali m_f jaetaan lähetetyllä signaalilla m_r (standardissa vastaanotettu signaali merkitään m_o ja lähetetty m_i). Tämä lasketaan neljälletoista modulaatiotaajuudelle F . Modulaatiosirtofunktio mitataan puheen kannalta merkittävälle taajuusalueella (125–8000 Hz) oktaavikaistoittain, modulaatiotaajuuksien ollessa 0,63 Hertsistä 12,5 Hertsiiin (14 kpl). Näin ollen puheensiirtoindeksin laskentaa

tulee 98 modulaatiofunktion arvoa. Modulaatiosirtofunktio on kaavana $MTF = m(F) = \frac{m_r}{m_t} = \frac{m_o}{m_i}$. Modulaatiovähennystekijä m modulaatiotaajuuksilla F voidaan mitata jälkikaiunnalle käyttämällä mittauksen lähettäjä-vastaanottaja-parin impulssivastetta. Tälle on IEC 60268-16 mukainen kaava

$$m(F) = \frac{|\int_0^\infty e^{-i2\pi Ft} h^2(t) dt|}{\int_0^\infty h^2(t) dt}.$$

Modulaatiosirtofunktiossa voidaan tehdä oletuksia, jos tutkittavasta tilasta tiedetään mitalukuja. Jos oletetaan jälkikaiunnan olevan ainoa osallistuva tekijä, ja että sillä on eksponentiaalinen luonne, voidaan edellä oleva kaava yksinkertaistaa muotoon

$$m(f_m) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi FT}{13,8}\right)^2}}$$

jossa T on EDT kuuntelupisteessä [71]. Taustamelulle on oma modulaation pienentämistekijä m_a , jolle on kaava

$$m = \frac{1}{1 + 10^{-SNR/10}},$$

jossa SNR on signaalikohina. Näistä saadaan yleiskaava jälkikaiunnan ja melun yhteisvaikutuksesta, joka on muotoa

$$m(f, f_m) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(2\pi f_m \frac{T_f}{13,8}\right)^2}} * \frac{1}{1 + 10^{\frac{-SNR_f}{10}}}.$$

Signaalikohinalla tarkoitetaan signaalin ja kohinan välistä suhdetta, joka lasketaan modulaatiosirtofunktio avulla kaavalla $SNR_{App} = 10 \log\left(\frac{m(F)}{1-m(F)}\right)$. Signaalikohinan arvoväli on rajattu -15 ja +15 desibelin välille. Mikäli tulokseksi tulee pienempi kuin -15 dB, annetaan sille minimirajan arvo -15 dB. Vastaavasti mikäli tulokseksi tulee yli +15 dB, annetaan arvoksi +15 dB. Näin ollen signaalikohinasuhteen arvolla -15 saadaan puheensirtoindeksin tulokseksi 0, signaalikohinasuhteella 0 puheensirtoindeksiksi 0,5 ja signaalikohinasuhteella +15 puheensirtoindeksiksi 1. [30]

Taulukossa 2 esitettiin puheensirtoindeksin subjektiivisia vastineita eri tilojen osalta. Avoimissa oppimisympäristöissä Islannissa, Isossa-Britanniassa ja Tanskassa puheensirtoindeksin vähimmäisarvoksi opetusryhmän sisällä suositellaan 0,6. Norjassa vastaava luku on 0,7 [11]. Puheensirtoindeksiä käytetään myös kuvaamaan tilojen välistä puheenselvyyttä, jolloin pienet puheensirtoindeksin tulokset ovat parempia. Tälle on asetettu raja-arvot 0,5 ja 0,2 kohdille, joista ensimmäinen tulkitaan häiritsevyyden raja-arvoksi ja

toinen yksityisyyden raja-arvoksi. Yksityisyyden raja-arvo on otettu käyttöön avoimien oppimisympäristöjen osalta opetustilojen, -alueiden, -pesien ja -ryhmien välille. Yksityisyyden ja häiritsevyyden raja-arvojen osalta on myös esitystavat, joissa raja-arvon sijainti äänilähteeseen ilmoitetaan etäisyytenä. Näille käytetään nimiä häiritsevyyssäde r_D ja yksityisyyssäde r_p .

Suomalaisessa standardissa SFS 5907 on esitetty esimerkkejä (taulukko 2.5), millä keinoin toimistoissa päästään millaiseenkin puheensiirtoindeksin arvoon tilojen välillä, kun erottavat rakenteet muuttuvat. Tämän mukaan subjektiivisesti täydelliseen eli alle 0,05 STI-arvoon voi päästä hyvin äänieristetyillä työhuoneilla, joiden ovet ovat kiinni, kun taas akustisesti hyvin suunnitellulla avoimella toimistolla vierekkäisten työpisteiden välillä voidaan päästä parhaimmillaan subjektiivisesti kohtalaiseen 0,4–0,5 puheensiirtoindeksin arvoon [81].

Taulukko 2.5: Puheensiirtoindeksin subjektiivinen merkitys vierekkäisten työpisteiden välillä toimistossa [81].

STI alue	Puheen peitto	Esimerkkejä tiloista
Alle 0,05	Täydellinen	Hyvin äänieristettyjen työhuoneiden välillä, ovet kiinni
0,05 – 0,20	Riittävä	Normaalisti eristettyjen työhuoneiden välillä, ovet kiinni
0,20 – 0,40	Hyvä	Työhuoneiden välillä, ovet auki käytävälle
0,40 – 0,55	Kohtalainen	Avotoimisto, akustisesti hyvin toteutettu
0,55 – 0,70	Välttävä	Avotoimisto, akustisessa toteutuksessa pieniä puutteita
0,70 – 0,85	Huono	Avotoimisto, akustiikassa merkittäviä puutteita
Yli 0,85	Ei ole	Avotoimisto, akustinen suunnittelu puuttuu

r_D – Häiritsevyyssäde

Häiritsevyyssäteellä tutkitaan etäisyyttä puhujasta tai äänilähteestä, jolloin puhetta tai ääntä ei mielletä enää häiritseväksi. Häiritsevyyssäde on määritetty puheensiirtoindeksin STI mukaan, jonka raja-arvona on yksikötön 0,5. Puheensiirtoindeksin ollessa suurempi kuin 0,5 tilojen välillä, mielletään ääni tai puhe häiritseväksi [83]. Häiritsevyyssäteen

käyttö ja häiritsevyyden raja-arvon tarkkailu avointen oppimisympäristöjen osalta on kirjallisuuden perusteella vähäistä.

r_P – Yksityisyysäde

Yksityissäteellä tarkoitetaan etäisyyttä, jolloin puheen selvyys on heikkoa. Standardissa tälle on määritelty STI-arvoraja $\leq 0,2$ [83]. Yleisesti ottaen $r_P > r_D$. Yksityisyysäteen puheensirtoindeksin raja-arvoa 0,2 käytetään määrittelemään riittävän vähäistä puheen selvyttä opetustilojen, -alueiden, -pesien ja -ryhmien välillä [11, 41]. Britanniassa riittäväksi puheenselvyyden rajaksi on määritetty 0,3 [9].

RASTI – Nopea puheensirtoindeksi

Nopea puheensirtoindeksi on nimensä mukaisesti nopeampi laskentatapa kuin puheensirtoindeksi, sillä modulaatiosirtofunktoita käytetään vain kahdeksan. Modulaatiofunktiot sijoittuvat kahdelle oktaavikaistalle ja näillä molemmilla on neljä modulaatiosirtofunktiota. Nopea puheensirtoindeksi toimii menetelmänä, mikäli jälkikaiunta-aika ja taustahäiriöt käyttäytyvät säännöllisesti eri oktaavikaistoilla. Mikäli jälkikaiunta-aika tai taustahäiriöt eivät ole säännöllisiä tai ovat vaikkapa hyvin kapeakaistaisia, voi tämä johdattaa liian optimistisiin tuloksiin. [61, 83]

$D_{2,s}$ – Äänen leviämismuunnos

Leviämismuunnoksen avulla tutkitaan äänen vaimenemista etäisyyden kaksinkertaistuksessa. Laskentaan käytetään pienimmän neliösumman menetelmään perustuvaa kaavaa

$$D_{2,s} = \lg(2) \frac{N \sum_{n=1}^N \left[L_{p,A,S,n} \lg \left(\frac{r_n}{r_0} \right) \right] - \sum_{n=1}^N L_{p,A,S,n} \sum_{n=1}^N \lg \left(\frac{r_n}{r_0} \right)}{N \sum_{n=1}^N \left[\lg \left(\frac{r_n}{r_0} \right) \right] - \left[\sum_{n=1}^N \lg \left(\frac{r_n}{r_0} \right) \right]},$$

jossa

$L_{p,A,S,n}$	on A-painotettu puheen äänitaso mittauspisteessä n;
n	on yksittäisen mittauspisteen sijainnin indeksinumero;
N	on mittauspisteiden lukumäärä;
r_n	on etäisyys mittauspisteeseen n;
r_0	on vertailuetäisyys 1 m [83]

Äänen leviämismuunnos avaruudessa on 6 dB.

EDT – Varhainen jälkikaiunta-aika

Varhaisella jälkikaiunta-ajalla tarkoitetaan mitattavan äänen ensimmäisen kymmenen desibelin vaimenemiseen kuluva aikaa taajuusvastekuvaajasta. Saatu aika kerrotaan kuudella lopullisen tuloksen saamiseksi. Varhaista jälkikaiunta-aikaa voidaan käyttää puheensirtoindeksin laskennassa, kuten aiemmin esitettiin. [82]

Muutamissa tutkimuksissa avoimia oppimisympäristöjä on tutkittu muillakin mittaluvuilla kuten C_{80} ja G , jotka luokitellaan enemmänkin saliäänienlaadun objektiivisiksi mittaluvuiksi. C_{80} on selvyuden mittasuure, jolla tarkastellaan varhaisen heijastuneen energian suhdetta myöhäisen kaiunnen energiaan. Näiden välinen raja-aika on 80 ms. G puolestaan on mittapisteeseen saapuvan energian voimakkuuden mittasuure. Näitä mittalukuja käytetään yleisemmin saliakustiikan määrittämisessä [61].

2.8 Päätelmät kirjallisuustutkimuksesta

Kirjallisuustutkimuksen perusteella avointen oppimisympäristöjen akustiikan toteutuksessa epäonnistuttiin 1960- ja 1970-luvuilla lähinnä siksi, että ääni pääsi leviämään erittäin avoimissa tiloissa esteettä. Toisaalta akustiikka ja tilankäyttö ovat tiukasti kytköksissä toisiinsa, sillä tilankäyttö luo tilaan äänimaailman, joka tulisi muokata akustiikan avulla oikeanlaiseksi. Toisaalta on myös kiinnitettävä huomiota siihen, kuinka avoimia oppimisympäristöjä käytetään; on esimerkkejä, joissa tilat ovat muuttuneet avoimiksi mutta opetus on säilynyt perinteisenä muuttumatta yksilökeskeiseksi. Opetusmenetelmiin voitaisiin puuttua tehokkaasti tilankäyttäjien perehdyttämisellä, minkä toteutumattomuudesta on myös näyttöä. Toisaalta työn yhteydessä toteutetulla opintomatalla nostettiin esimerkki avointen oppimisympäristöjen jatkuvuudesta läpi peruskoulun, sillä useilla paikkakunnilla kyllä on avoimia oppimisympäristöjä sisältäviä alakouluja, mutta paikoitellen oppilaslähtöinen pedagogiikka päättyy yläkoulun kynnykselle, jota ei pidetty hyvänä.

Joissakin maissa on ehditty laatia ohjeita ja standardeja avointen oppimisympäristöjen suunnitteluun. Keskeisiä mittasuureita ovat puheensirtoindeksi, äänenpainetaso, taustamelutaso, jälkikaiunta-aika sekä tilanjakajien äänenvaimennus. Puheensirtoindeksiä on tutkittu kohteissa joko mittaamalla tai suullisella puheenselvyysskyselyllä, jonka subjektiivisuus korreloidaan puheensirtoindeksin objektiivisuuteen.

Eri maissa on myös määritelty tyhjän tilan taustäänitason suhteen maksimiarvot sekä jälkikaiunta-ajat, kun tila on kalustettu tai kalustamaton. Näillä kaikilla pyritään arvioimaan avoimen oppimisympäristön suunnitteluvaiheessa tilan kokoa, opetusryhmien sijoittelua sekä eri toiminnallisten alueiden rajaamista. Tilanjakajista on mainittu sen verran, että niiden tulisi olla mahdollisimman korkeita puheen selvyuden pienentämiseksi eri opetusryhmien välillä.

Ääniergonomia koskevia tutkimustuloksia on Isosta-Britanniasta, mutta Suomesta ei ole tutkittu ainoakaan avoimen oppimisympäristön ääniergonomiaa. Suomessa on tutkittu ainakin osittain avoimen oppimisympäristön huoneakustiikkaa, mutta tämäkin tutkimus rajoittuu tutkimaan tilaa kansallisen luokkahuoneiden akustiikkastandardin puitteissa, jolloin opetusryhmien välistä puheenselvyyden pienenemistä ei oteta ollenkaan huomioon. Toisaalta, koska luokkahuoneet ja avoimet oppimisympäristöt ovat funktioiltaan hyvin erilaisia, eivät kansalliset luokkahuoneiden akustiikkavaatimukset ole täysin kattavia avointen oppimisympäristöjen suunnittelu- ja mittausrakenteissa. Suomessa ei ole tutkittu vielä täysin avoimia oppimisympäristöjä, joita kuitenkin on jo olemassa.

Avoimia oppimisympäristöjä on tutkittu mittausten, mallinnusten sekä suullisten kyselytutkimusten lisäksi myös kirjallisilla kyselytutkimuksilla, joilla on selvietty tilojen akustiikkaa, tilankäyttöä, ääniergonomiaa sekä häiritsevyydestä. Suomesta tällaista tutkimusta ei ole vielä toteutettu. Kirjallisia kyselytutkimuksia on suunnattu niin opettajille kuin oppilaillekin. Avointen oppimisympäristöjen mallinnuksella on ollut mahdollisuutta tuottaa tietoa, joiden tuottaminen laskentamalleilla olisi hyvin haastavaa.

Kirjallisuustutkimuksen perusteella esiin nousee tutkimuskysymyksiä, jotka suomalaisiin avoimiin oppimisympäristöihin liittyen tulisi selvittää. Keskeisiä akustiikkaan liittyviä seikkoja ovat:

- äänen leviämismuunnos ja puheyksityisyyden ja puheäänien häiritsevyyden vaikuttavat tekijät. Erityisesti nämä seikat liittyvät peiteäänien hyödyntämismahdollisuuksiin sekä erilaisiin äänen etenemistä vähentäviin tilanjakajiin, kuten kalusteisiin ja seinäkkeisiin. Näitä seikkoja voidaan tutkia huoneakustisen mallinnuksen avulla. Puheäänien leviämiseen vaikuttaessa on kuitenkin samalla varmistettava se, että puheen erotettavuus on riittävän hyvä lähietäisyyksillä.
- Suomessa jo toteutettujen avointen oppimisympäristöjen huoneakustiset olosuhteet. Koska Suomessa on jo toteutettu joitakin avoimia oppimisympäristöjä, niiden huoneakustisia olosuhteita voidaan tutkia mittaamalla erityisesti äänen leviämismuunnoksen ja puheäänien häiritsevyyden kannalta.
- avoimia oppimisympäristöjä on otettu käyttöön syyslukukauden alussa 2016. Niiden onnistumista voidaan tutkia myös tekemällä ääniolosuhteisiin liittyviä kyselyitä.

3. HUONEAKUSTIIKAN MALLINTAMINEN

3.1 Huoneakustisen mallinnuksen tavoitteet

Kirjallisuustutkimuksessa havaittiin, että avointen oppimisympäristöjen akustiikan osalta etenkin äänen leviäminen esteettömästi on ollut ongelma niin kauan kuin avoimia oppimisympäristöjä on ollut olemassa. Uudemmissa ohjeistuksissa suositellaan tilojen suunnitteluvaiheessa käytettävän huoneakustista mallintamista. Äänen leviämiseen ja puheenerotettavuuteen avoimessa oppimisympäristössä voidaan vaikuttaa järjestämällä tilaan ääntä vaimentavia pintoja, jotka vähentävät äänen heijastumista, sekä erilaisia tilanjakajia. Lisäksi puheenerotettavuuteen voidaan vaikuttaa peiteäänijärjestelmällä. Siten huoneakustisen mallinnuksen tavoitteena oli tutkia seuraavia tekijöitä:

- tilanjakajien, kuten seinäkkeiden ja verhojen vaikutus äänen leviämismuunnokseen ja puheenerotettavuuteen. Muuttujina ovat tilanjakajan korkeus ja tyyppi. Verhojen osalta tutkitaan lisäksi myös erilaisia tilanjakajan asettelun muotoja, kuten suora tilanjakaja ja pohjapinta-alaltaan ympyrän muotoisen alueen ympäröinti tilanjakajalla.
- huonekorkeuden vaikutus äänen leviämismuunnokseen ja puheenerotettavuuteen.
- peiteäänien vaikutus äänen leviämismuunnokseen ja puheenerotettavuuteen.
- käytettäessä ääntä vaimentavia pintoja, tilanjakajia ja peiteäänijärjestelmää puheen leviämismuunnoksen rajoittamiseksi ja puheenerotettavuuden vähentämiseksi suurilla etäisyyksillä on samalla varmistettava se, että lähietäisyyksillä puheenerotettavuus on riittävän. Siten mallinnuksella tarkasteltiin myös kalustamatonta tilaa, jossa peiteäänien äänitaso vaihtelee.

3.2 Mallinnusmenetelmä

Tutkittavien tekijöiden huoneakustista mallinnusta varten laadittiin kolmiulotteisia tilamalleja SketchUp -ohjelmalla, jonka jälkeen valmiit tilamallit muunnettiin erillisellä lisätyökalulla huoneakustiikkaohjelma Odeonin edellyttämään muotoon. Tilan pinnoille ja verhoille määriteltiin mahdollisimman todenmukaiset materiaalit ja materiaaleille puolestaan mahdollisimman todenmukaiset absorptiosuhteet ja sirontakertoimet.

Laskenta-asetuksien impulssivasteet asetettiin 0,66 kertaiseksi tilojen suurimman oktaavikaistaisen jälkikaiunta-ajan mukaan [65]. Laskentatarkkuutena käytettiin Odeonin ohjeistusta [67]. Luotettavan tuloksen saamiseksi mittauspisteeseen tulisi osua säteitä vähintään 25 kappaletta sekunnissa [66]. Laskenta-asetuksia mallityypeittäin kootusti taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1: Eri malleissa käytetyt impulssivasteet ja myöhäisten säteiden lukumäärät tilajakajan suhteen.

Mallin tilanjakaja	Impulssivaste [ms]	Myöhäisten säteiden lukumäärä [kpl]
Seinäkkeet	1600	60 000 – 150 000
Tyhjä tila	1600	60 000
Verhot	1600	100 000 – 400 000

Eniten myöhäisiä säteitä laskenta-asetuksissa käytettiin kahden pesän verhomalleissa, sillä kahden rajatusti läpäisevän pinnan vaikutus säteiden saapumiseen vastaanottopisteeseen oli huomattava.

3.3 Huoneakustiset mallit

Tilamallit luotiin siten, että sivuseiniltä tulevat äänenheijastumiset eivät vaikuta tuloksiin. Näin ollen tilat luotiin pohja-aloiltaan 100 x 100 m kokoisiksi (kuva 3.1) ja seinät asetettiin täysin absorboiviksi. Huonetilan korkeuden vaikutuksen tutkimista varten mallista luotiin kolme eri mallisarjaa, jotka olivat korkeudeltaan h_r (room) 2,5 m, 3,5 m ja 4,5 m.

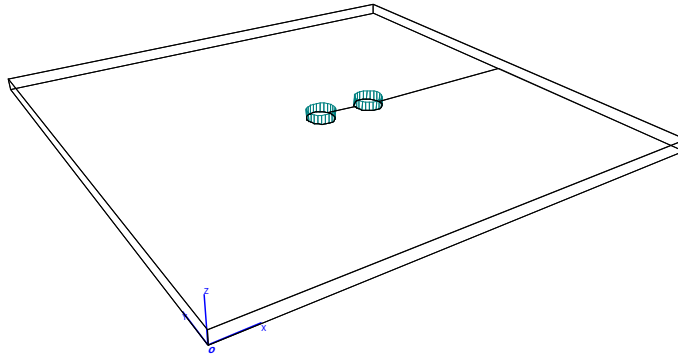
Jokaisella huonekorkeudella testattiin ilmanvaihtojärjestelmän tyypillisesti tuottaman 30 dB keskiäänitasoa $L_{A,eq}$ ja peiteäänijärjestelmällä tuotetun 40 dB peiteäänitason $L_{A,eq}$ vaikutusta puheenerotettavuuteen. Taustäänitasojen spektri perustuu optimaalisen taustäänien spektriin, joka koetaan mahdollisimman neutraaliksi ja häiriöttömäksi [76]. Optimaalisen taustäänien spektrissä äänitaso pienenee 5 dB taajuuden kaksinkertaistuessa.

Korkeuden ja taustäänien lisäksi malleilla tutkittiin erilaisten ja erimuotoisten tilanjakajien tehokkuutta sekä lattiasironnan vaikutusta tuloksiin. Lattiasirontakertoimella kartoitettiin sirontakertoimen käyttöä kuvaamaan kalusteiden määrää ja niiden kokoa tilassa. Tilanjakajista tutkittiin ilmaaneneristyksellisiä verhoja, ääntä läpäisemättömiä seinäkkeitä, ilmaaneneristyksellisiä seinäkkeitä. Käytetyt taustäänitasot oktaavikaistoittain on esitetty taulukossa 3.2.

Taulukko 3.2: Käytetyt optimaaliset A-painotetut taustäänitasot oktaavikaistoittain.

Taajuuskaista [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{A,eq} = 30$ dB	42,7	37,7	32,7	27,7	22,7	17,7	12,7	7,7
$L_{A,eq} = 40$ dB	52,7	47,7	42,7	37,7	32,7	27,7	22,7	17,7

Äänilähteet eli puhujat mallinnettiin ympärisäteilevinä ja niiden äänitehotasot määritettiin vastaamaan EN ISO 3382-3 normaalipuheen spektriä (taulukko 3.2). Normaalipuheen A-painotettu keskiäänitehotaso on 68,4 dB. Äänilähteet suunnattiin osoittamaan suoraan tilanjakajaa ja vastaanottajia päin kallistamatta äänilähdettä pystysuunnassa. Äänilähteet olivat 1,6 m korkeudella lukuun ottamatta muutamaa tilannetta, joissa mallinnettiin oppilaiden välisiä tilanteita, jolloin äänilähde oli 1,0 m korkeudella. Vastaanottajat olivat 1,0 m korkeudella ja ne suunnattiin osoittamaan kohti äänilähteitä.



Kuva 3.1. Esimerkki tilamallista, jossa on kaksi verhoilla ympäröityä oppimispesää. Tilan sivumitta on 100 m. Tarkoituksena oli tutkia tilannetta, jossa ääni kulkee heijastamalla katon kautta, verhojen kautta sekä siroamalla.

Äänilähteiden ja vastaanottimien korkeuksien suhteen poikettiin standardin ISO 3382-3 ohjeistamista toimistomittauskorkeuksista, joissa sekä äänilähde että vastaanottimet ovat 1,2 m korkeudella. Toimistoakustiikkamittauksen äänilähteen ja vastaanottajan korkeuksilla simuloidaan aikuisen istumakorkeutta, mikä on tilanteena erilainen verrattuna opetustilaisuuteen, jossa opettaja puhuu seisaaltaan ja oppilaat istuvat. Mallinnuksessa ja myös mittauksessa käytetyt äänilähteiden ja vastaanottimien korkeudet perustuvat tutkimuskirjallisuudessa ja niiden pohjalta ulkomailta laadituissa suosituksissa annettuihin äänilähteiden ja vastaanottimien korkeuksiin [11, 9, 14].

Taulukko 3.2. Äänilähteiden tehotasot EN ISO 3382-3 normaalipuheen mukaan.

Taajuuskaista [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Tehotaso $L_{w,s}$ [dB]	60,9	65,3	69,0	63,0	55,8	49,8	44,5

Kaikissa huoneakustisissa malleissa käytettiin samoja alakatto- ja lattiapäällysteabsorptiokertoimia. Alakaton materiaalina käytettiin 200 mm alas laskettua Ecophon Focus A -levyä. Alaslaskun ilma- ja seinäkorkeudella voidaan vaikuttaa kattolevytyksen pienien taajuuksien absorptioon; ilmarako vaimentaa tehokkaasti taajuuksia, joiden aallonpituus on neljä kertaa ilma- ja seinäkorkeuden suuruinen tai tätä pienempi [62]. Lattiapäällysteen materiaalina käytettiin Flotex-tekstiilimattoa. Näiden materiaalien tarkoitus oli edustaa jo saatavilla olevia materiaaleja, joita voitaisiin käyttää avointen oppimisympäristöjen yhteydessä. Taulukossa 3.3 on esitetty Focus A:n ja Flotex-tekstiilimaton absorptiosuhteet.

Taulukko 3.3. Flotex-tekstiilimaton ja Focus A:n absorptiosuhteet.

Materiaali	Absorptiosuhde α oktaavikaistoittain								α_w
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Flotex-tekstiilimatto	0,0	0,0	0,02	0,04	0,09	0,22	0,25	-	0,10
Ecophon Focus A	0,1	0,5	0,85	0,95	0,85	0,95	0,85	0,9	0,95

Lattiapäällysteenä olisi vaihtoehtoisesti voinut käyttää muitakin lattiapäällysteitä, mutta kuten oppaassa RIL 243-3-2008 linjataan, tekstiilimatoilla ei voida vaikuttaa juurikaan puhetaajuusalueen absorptioon. Näin ollen maton tärkein tehtävä on vaimentaa askelään voimakkuutta. Tällä ei tarkoiteta välipohjan askeläänieristystä vaan kävelystä aiheutuva melua tilassa, jossa liikutaan [33].

Absorptiokertoimien lisäksi pinnoille määritettiin sirontakertoimet. Materiaalikohtainen tietämys sirontakertoimista on toistaiseksi rajallista. Mallinnusohjelman ohjekirja ohjeistaa sirontakerrointen valintaa [67]. Sirontakertoimen ollessa nolla ääni heijastuu peilimäisesti materiaalin pinnalta pinnan normaalin suhteen. Sirontakertoimen kasvaessa prosentuaalinen osuus säteistä heijastuu Lambertin kosinijakauman mukaisesti. Näin ollen sirontakertoimen kasvaessa kasvaa myös säteiden todennäköinen heijastumisalue. Sirontakertoimen ollessa yksi ei pinnalta heijastu peilimäisesti yhtään sädettä [36].

Koska materiaalin ja pinnan tarkkojen oktaavikaistaisten sirontakertoimen määrittäminen on hankalaa, käytetään karkeaa määritysmenetelmää, joka perustuu kahteen valmiiseen taulukkoon; molemmissa taulukoissa pystyakselin yksikkönä on sirontakerroin mutta vaakakselin yksikkönä on joko pinnan syvyys tai pinnan leveys. Mikäli esimerkiksi laskostetulle verholle oletetaan ”aallon” huipun tai pohjan leveydeksi 200 – 300 mm, olisi tämän sirontakerroin taulukon mukaan noin 0,45. Vastaavasti ”aallon” huipun ja pohjan välisen syvyyden ollessa esimerkiksi 100 mm, on sirontakerroin 0,4. Taulukoista ohjeistetaan valittavan sirontakertoimeksi suurempi lukuarvo, jolloin tämän esimerkkiverhon sirontakertoimeksi valikoituu 0,45 [36].

Esimerkkiverhona toimi Gerrietsin seitsenkerroksisen verhon mallikappale, jolloin saatua sirontakerrointa voidaan käyttää lähes suoraan viisikerroksisen version sirontakertoimeksi. Koska seitsenkerroksinen versio on viisikerroksista versiota jäykempi, voi viisikerroksinen verho laskostua mahdollisesti tiheämmin kuin seitsemän kerroksinen. Jos oletetaan verhon ”aallon” huipun leveydeksi 100 mm, tulee sirontakertoimen arvoksi 0,5. Tätä kyseistä sirontakertoimen arvoa käytetään työn verhojen suhteen. Malleissa käytetyt sirontakertoimet materiaalikohtaisesti taulukossa 3.4.

Taulukko 3.4: Mallien materiaalien sirontakertoimet.

Materiaali	Verho	Katto	Seinä	Seinäke	Lattia- päällyste	Lattiapäällyste + kalusteet
Sirontakerroin	0,5	0,05	0,00	0,05	0,05	0,7

3.4 Tutkitut tilanteet

3.4.1 Tyhjä tila

Tyhjän tilan malleilla tutkittiin leviämismuunnosta, kun huonetilan korkeus oli joko 2,5 m, 3,5 m tai 4,5 m. Lisäksi tutkittiin puheensirtoindeksin STI arvoja etäisyyden suhteen. Kaikissa tilanteissa taustäänitaso $L_{A,eq,B}$ arvona käytettiin ilmanvaihtojärjestelmän tyyppillisesti tuottamaa keskiäänitasoa 30 dB sekä peiteäänitasoa 40 dB. Tämän tarkastelun tarkoituksena oli selvittää, millä etäisyydellä opettajan puheenerotettavuus on hyvällä tasolla. Rajaksi hyvälle puheenerotettavuudelle asetettiin puheensirtoindeksin STI arvo 0,7.

Lisäksi lattiapäällysteen osalta tutkittiin sirontakertoimen vaikutusta leviämismuunnukseen. Sirontakertoimelle annettiin arvot 0,05 ja 0,7, joista 0,05 mallintaa täysin tyhjää tilaa ja 0,7 kalustettua tilaa. Kalustetussa tilassa tosin sanoen oletetaan, että äänen heijastuminen lattiasta ei ole peilimäistä. Todelliset tilanteet lienevät jossain näiden kahden ääripään välissä.

Tyhjän tilan malleissa äänilähde sijaitsi pohjapinta-alan pintakeskiössä 1,6 m korkeudella. Vastaanottajat sijaitsivat tästä eteenpäin linjassa yhden metrin korkeudella kahden metrin välein. Ensimmäisen vastaanottajan etäisyys äänilähteeseen on 1,0 m ja viimeisen 29,0 m. Äänilähde osoittaa vaakasuorassa vastaanottajiin päin ja vastaanottajat osoittavat suoraan äänilähteeseen päin.

3.4.2 Seinäkkeet

Seinäkkeenä käytettiin Ecophonin tuotetta Akusto Screen A, mille valmistaja on ilmoittanut ekvivalentit absorptioalat oktaavikaistoittain sekä seinäkkeen vaimennusluvut oktaavikaistoittain. Koska ekvivalentit absorptioalat oli mitattu ja dokumentoitu standardin ISO 354 mukaisesti, niistä oli mahdollista laskea oktaavikaistaiset absorptiokerroimet, sillä huoneakustiikkamallinnuksessa Odeonissa ei voida hyödyntää ekvivalentteja absorptioaloja. Vastaavasti äänen vaimenema oli mitattu ja dokumentoitu standardin ISO 10053 mukaan, jolloin tuloksista voitiin laskea seinäkkeen oktaavikaistaiset ilmaääneneristävyysluvut, mitkä tarvittiin äänen läpäisevyyden määrittämistä varten. Absorptiokerroimet laskettiin yksinkertaisella kaavalla

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S},$$

jossa α_s on absorptiokerroin, A_T ekvivalentti absorptioala ja S mitatun seinäkkeen pinta-ala [21]. Mitatun seinäkkeen yhden puolen pinta-ala oli 3,28 m² (1,8 m x 1,82 m) ja molemmat puolet olivat kangaspäällysteisiä. Seinäkkeen yläosassa 0,4 m korkeudelta oli lasitus, jolloin absorptiomateriaalin pinta-alaa oli 2,6 m². Kuitenkin seinäkkeen pinta-alaan

kuuluu laskennallisesti myös lasitus ja koska seinäke oli kaksi puoleinen, oli seinäkkeen pinta-ala 6,552 m². Mittauksessa seinäkkeitä oli yksi kappale [59]. Näin ollen absorptio-kertoimiksi tuli taulukon 3.5 osoittamat arvot.

Taulukko 3.5. *Ecophon Akusto Screen A -seinäkkeen ekvivalentit absorptioalat ja lasketut absorptiokertoimet. Keskitaajuudella 63 Hz käytettiin keskitaajuuden 125 Hz arvoa ja keskitaajuudella 8000 Hz keskitaajuuden 4000 Hz arvoa.*

Taajuuskaista [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
A_T [m ²]	0,5	1,9	3,8	4,3	4,1	4,1
S [m ²]	6,552	6,552	6,552	6,552	6,552	6,552
α_s	0,07	0,29	0,58	0,66	0,63	0,63

Seinäkkeen äänenvaimennusluvusta ΔL_S laskettiin ilmaääneneristysluvut käyttämällä lähteissä [12] ja [91] esitettyä menetelmää. Koska mittaus on tehty standardin ISO 10053 mukaisesti, on mittaustila ollut puolikaiuton huone, jolloin vain lattia on ollut kovaa heijastavaa materiaalia [19]. Laskentamalli ottaa huomioon seinäkkeen läpi kulkeutuvan suoran äänen, seinäkkeen reunoista tapahtuvan diffraktion sekä katto- ja seinäheijastukset unohtamatta äänilähteen ja vastaanottajan etäisyyksiä seinäkkeestä. Tilan ollessa puolikaiuton ei katto- tai sivuheijastuksia synny. Koska mittaus on suoritettu standardin ISO 10053 mukaisesti, seinäkkeen sivureunojen diffraktiot on estetty jatkamalla seinäkettä tilan reunoihin asti. Näin ollen laskentaan jäävät keskeisiksi tekijöiksi äänilähteen ja vastaanottajan sijainnit sekä korkeudet (äänilähde ja vastaanottaja seinäkkeestä 1,5 m etäisyydellä 1,2 m korkeudella), äänen diffraktio seinäkkeen yläpinnasta (seinäke 1,8 m korkea) ja suoran äänen reitti seinäkkeen läpi. Suoralle äänelle on esitetty kaava [91]

$$L_{p,1} = L_{p,0} - R$$

ja taittuvalle äänelle kaavaa

$$L_{p,3} = L_{p,0} - IL,$$

joissa $L_{p,0} = L_w - 10 * \log(4 * \pi * d^2)$, missä d on äänilähteen ja vastaanottimen etäisyys, L_w on äänilähteen äänitehotaso, R on ilmaääneneristysluku ja $IL = 10 * \log(3 + 40 * (z/\lambda))$, jossa z on äänilähteen ja vastaanottimen etäisyydet seinäkkeen yläreunaan, jotka summataan ja tästä vähennetään äänilähteen ja vastaanottimen välinen etäisyys. λ on taajuuskaistan aallonpituus. Näiden logaritminen summa tuottaa tuloksena

$$L_2 = 10 * \log(10^{L_{p,0}-R} + 10^{L_{p,0}-IL}),$$

joissa $L_2 = L_{p,0} - \Delta L_S$. Muutamalla välivaiheella saadaan lausekkeesta muotoiltua

$$R = -\log(10^{L_{p,0}-IL} - 10^{(L_{p,0}-\Delta L_S)/10}) + L_{p,0}.$$

Tulokseksi tuli taulukon 3.6 osoittamat arvot. Ilmaääneneristykseen määrittelemiseksi huoneakustiikan mallinnusohjelmassa tarvittiin terssikaistaiset arvot, joka luotiin levittämällä oktaavikaistojen keskitaajuuksien arvot oktaavikaistojen terssikaistoille. Koska mitattuja arvoja ei ollut alle 125 Hz oktaavikaistan tai yli 4000 Hz oktaavikaistan, annettiin < 125 Hz terssikaistoille 125 Hz keskioktaavitaajuuden arvo 8,0 ja > 4000 Hz vastaavasti 4000 Hz keskioktaavitaajuuden arvo 20,4. Ilmaääneneristys terssikaistaiseksi muutettuna mallinnusta varten on esitetty taulukossa 3.7.

Taulukko 3.6. Seinäkkeen mitatut äänenvaimenemaluvut ja lasketut ilmaääneneristävyydet oktaavikaistoittain.

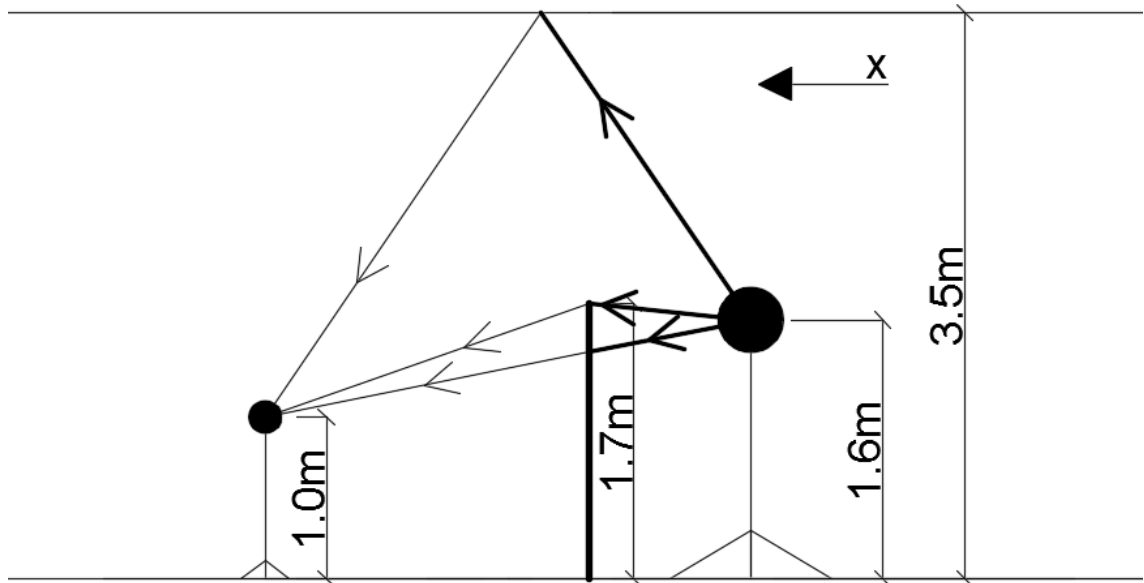
Taajuuskaista [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
ΔL_s [dB]	4,7	8,1	10,5	9	13,2	16,1
R [dB]	8,0	9,9	12,2	14,8	17,6	20,4

Taulukko 3.7. Seinäkkeen ilmaääneneristävyys R [dB] terssikaistoittain.

Materiaali	Ilmaääneneristävyys R terssikaistoittain							
	50	63	80	100	125	160	200	250
Ecophon	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	9,9	9,9
Akusto	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
Screen A	9,9	12,2	12,2	12,2	14,8	14,8	14,8	17,6
	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
	17,6	17,6	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4

Laskennassa äänitehotasona käytettiin vaaleanpunaista kohinaa, jonka tehotaso 125 Hz oktaavikaistalla oli 70 dB. Näin ollen tehotaso oktaavikaistalla 4000 Hz oli 55 dB. Mitatun seinäkkeen $\Delta L_{s,w}$ oli 12 dB ja laskemalla saatu R'_w standardin ISO 717-1 mukaisesti 15 dB [22].

Seinäkkeen leveyden vaikutusta tutkittiin seinäkkeen leveyksillä 2 m, 3 m, 5 m ja 7 m. Seinäkkeen korkeuden vaikutusta tutkittiin koko tilan levyisillä seinäkkeillä, joiden korkeudet h_s (screen) olivat 1,3 m, 1,7 m ja 2,0 m. Seinäkkeet sijaitsivat tilan pohjapinta-alan pintakeskiössä ja äänilähteet seinäkkeen toisella puolella yhden, kolmen ja viiden metrin päässä seinäkkeestä. Äänilähteiden puolella vastaanottopisteitä oli puolen, puolentoista sekä kolmen ja puolen metrin päässä seinäkkeestä. Seinäkkeen toisella puolella äänilähteet sijaitsivat puolen metrin sekä tasaisesti metrin välein kahdesta metristä kuuteentoista metriin etäisyyksillä seinäkkeestä. Vastaanottajat suunnattiin kohti äänilähteitä. Äänilähteet olivat 1,6 m korkeudella lukuun ottamatta tilamallia, jossa 1,3 m seinäkkeen korkeudella testattiin myös tilanne, kun äänilähde on 1,0 m korkeudella. Näin ollen vastaanottopisteitä oli malleittain 17–19 kpl riippuen äänilähteen sijainnista. Kuvassa 3.2 on esitetty äänen kulkureitit äänilähteeltä seinäkkeen yli äänen vastaanottopisteeseen. Nämä kaikki reitit sekä muut mahdolliset äänen kulkureitit on otettu mallinnuksessa huomioon.



Kuva 3.2. Merkittävimmät äänen kulkureitit äänilähteestä (iso musta ympyrä) vastaanottopisteeseen (pieni musta ympyrä), kun seinäke on 1,7 m korkea, äänilähde on 1,0 m etäisyydellä seinäkkeestä ja mittauspiste on 2,0 m etäisyydellä seinäkkeestä. Ääni kulkee heijastumalla katon kautta, siroamalla seinäkkeen harjan yli sekä seinäkkeen kautta, jolloin seinäkkeen ääneneristävyyys vaikuttaa kuuntelupisteessä havaittavaan ääneen.

Standardissa SFS 5907 suositellaan seinäkkeen vähimmäiskorkeudeksi 1500 mm, mutta tämä arvo on suunnattu avotoimistoihin. Avoimen oppimisympäristön erona toimistoympäristöön on se, että puheen tuotto tapahtuu usein seisoma-asennosta, etenkin opettajilla. Kansallisessa FINRISKI 2007 terveystutkimuksessa on saatu suomalaisten miesten ja naisten painotetuiksi keskipituuksiksi 1,77 m ja 1,63 m, joiden vastaavat painottamattomat arvot ovat 1,76 m ja 1,63 m [63]. Seinäkkeen pääasiallinen tehtävä on vaimentaa suoraa ääntä ja näin ollen seinäkkeen tulisi olla korkeampi kuin äänilähde tai puhuja [76]. Seinäkkeen ollessa äänilähdettä korkeampi, jää merkittävimiksi äänen siirtymisreiteiksi diffraktio seinäkkeen yläpinnasta sekä epäsuorat siirtymäreitit esimerkiksi heijastuminen katon tai seinän kautta. Toimistoihin tarkoitettujen seinäkkeiden on arvioitu vaimentavan suoraa ääntä vähintään 20 dB [38].

Verrattaessa seinäkkeiden vähimmäiskorkeutta toimistoissa suomalaisten keskipituuksiin huomataan, että seisoma-asennossa puhuttaessa 1,5 m seinäkekorkeus ei riitä vaimentamaan suoraa ääntä. Keskipituuden kannalta sermin korkeudeksi riittäisi 1800 mm, mutta keskipituutta pidemmän ihmisen puhuessa seinäkkeen hyöty katoaa. Lienee tärkeää taata avoimen oppimisympäristön huoneakustinen toimivuus jokaisen käyttäjän kannalta, jolloin seinäkkeen tulisi olla esimerkiksi 2000 mm korkea. Yhteenvetona 1,7 m valittu seinäkkeen mallinnuskorkeus selittyy siis sillä, että vaimennetaan 1,6 m korkealla olevan äänilähteen suoraa ääntä, 2,0 m seinäkekorkeudella otetaan kaikki käyttäjät huomioon. Lisäksi on esitetty 1,3 m korkeiden seinäkkeiden toimivuus.

Seinäkemalleilla simuloidaan hyvin myös kirjahyllyjen vaikutusta, sillä suurin ero seinäkkeen ja kirjahyllyn välillä on kirjahyllyn syvyys. Koska kirjahyllyllä on kuitenkin samanlaisia ilmastoineristys- ja absorptio-ominaisuuksia (absorptio-ominaisuudet muodostuvat absorptiolevytyksestä hyllyn takaseinällä ja kirjahyllyosion aukinaisuudesta), voidaan seinäkkeiden mallinnustuloksia tarkastella myös kirjahyllyjen kannalta.

3.4.3 Verhot

Verhojen vaikutusta tilanjakajana tutkittiin Gerrietsin viisikerroksisella toimistoverholla, jonka keskimäinen kerros on ääntä eristävä ja molemmin puolin kaksi ulointa ovat ääntä absorboivia. Kyseisen verhon valintaan vaikutti se, että verhon valmistaja on mittauttanut verhon ilmastoineristävyyden. Verhon ilmastoineristävyys on esitettyä terssikaistoittain taulukossa 3.8. Absorptiokertoimet ovat esitettyä taulukossa 3.9.

Taulukko 3.8. Gerrietsin 5-kerroksisen toimistoverhon ilmastoineristävyys R terssikaistoittain.

Materiaali	Ilmastoineristävyys R terssikaistoittain							
	50	63	80	100	125	160	200	250
Gerriets 5-kerroksinen toimistoverho	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	7,5	7,3	6,4
	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
	7,5	8,0	7,7	8,7	10,3	12,5	14,5	16,3
	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
	19,0	22,4	24,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0

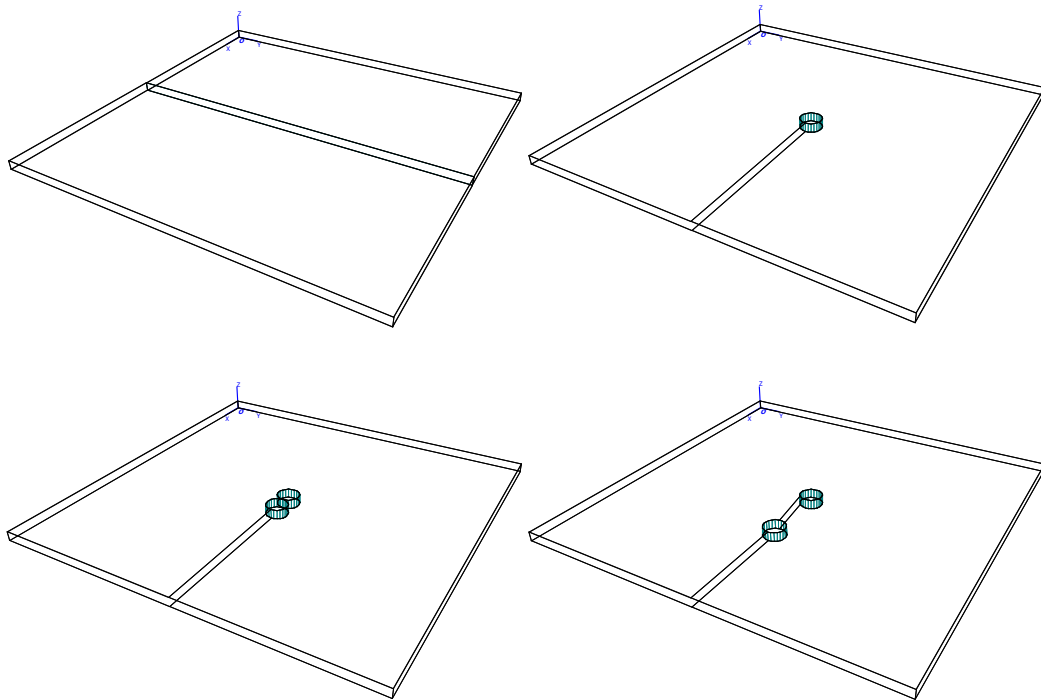
Verhon valmistajan ääneneristävyyden esityksessä oli ilmaistuna ilmastoineristykseen arvot taajuuskaistojen 125–4000 Hz välillä. Huoneakustiikkaohjelma Odeon tarvitsee kuitenkin laskentaansa ääntä läpäisevien pintojen suhteen myös taajuusvälit 50 – 125 Hz sekä 4000–10000 Hz. Näiden taajuusalueiden arvojen puuttuessa annettiin alemman taajuusalueen arvoksi ilmoitetun taajuusvälin minimiarvo ja ylempään taajuusalueen arvoksi ilmoitetun taajuusvälin maksimiarvo [26].

Taulukko 3.9. Verhon uloimpien kerrosten absorptiokertoimet oktaavikaistoittain.

Materiaali	Absorptiosuhde α oktaavikaistoittain								α_w
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Gerriets Sound curtain Office, 5 kerroksinen	0,05	0,05	0,35	0,85	0,9	0,78	0,85	0,90	0,65

Verhojen asettelun osalta luotiin neljä mallinnustyyppiä, jossa yhdessä verho oli keskellä koko mallinnustilan leveydellä, toisessa pohjapinta-alaltaan ympyränmuotoisen pesään reunoilla, kolmannessa kahden vastaavanlaisen pesän reunoilla, kun pesien välimatka oli

100 mm ja neljännessä, kun vastaavanlaisten pesien etäisyys oli kuusi metriä. Pesien pohjapinta-alan säde oli kolme metriä (kuva 3.3). Lisäksi tehtiin versiot, joissa toisissa verhot ylsivät kattoon asti ja toisissa katon ja verhon rajaan jäi ilmapäli. Ilmapälin korkeus kahden ja puolen metrin huonekorkeudella oli 0,5 m, kolmen ja puolen 1,0 m ja neljän ja puolen 2,0 m. Matalammilla verhokorkeuksilla selvitettiin tilannetta, jossa ilmanvaihto halutaan toteuttaa mahdollisimman vaivattomasti.



Kuva 3.3. Verhoilla rajattujen pesien huoneakustiset mallit.

Verhomalleissa äänilähde asetettiin 1,6 m korkeuteen ja vastaanottajat 1,0 m korkeuteen. Äänilähde suunnattiin kohti vastaanottajia ja vastaanottimet kohti äänilähdettä. Pesämalleissa äänilähde sijaitsi lähetyspesän keskellä. Pitkän verhon malleissa äänilähteitä asetettiin yhden metrin päähän verhosta, kolmen metrin päähän verhosta ja kuuden metrin päähän verhosta. Vastaanottajia verhon ja äänilähteen välillä oli puolen, puolentoista ja kolmen ja puolen metrin päässä verhosta. Pitkän verhon malleissa ensimmäinen vastaanottajan sijainti verhon takana oli puolen metrin päässä, jonka jälkeen seuraava oli metrissä ja loput metrin etäisyydellä aina viidentoista metrin etäisyyteen verhosta. Pesämalleissa vastaanottajat sijaitsivat tasaisesti metrin välein verhon molemmin puolin. Yhden pesän malleissa kauimmainen vastaanottaja sijaitsi 13 m päässä äänilähteestä ja kahden pesän malleissa 14 m päässä äänilähteestä. Pesämalleissa lähetyspesän sisällä on kaksi vastaanottajan paikkaa ja toisessa viisi vastaanottajan paikkaa.

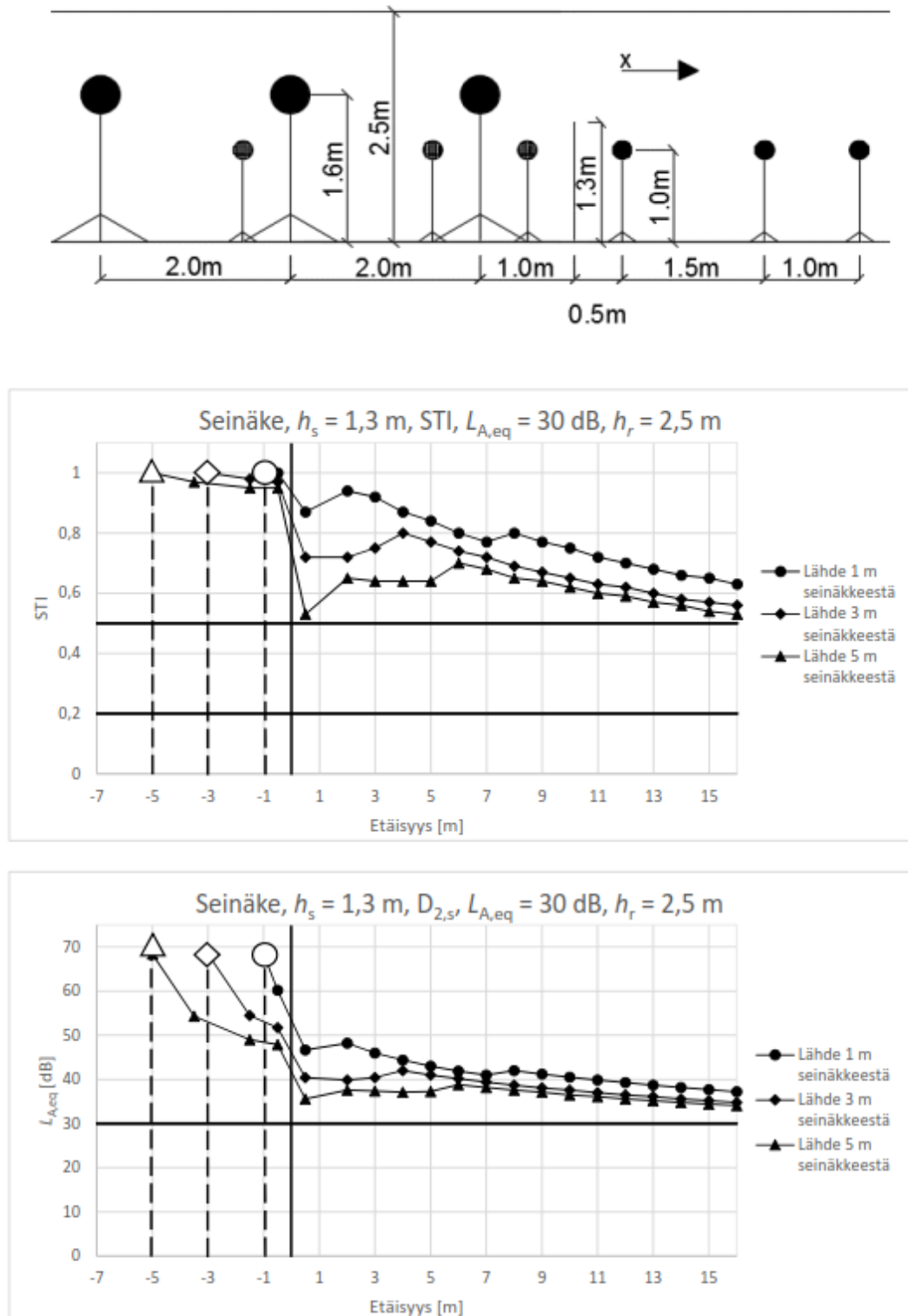
3.5 Huoneakustisen mallinnuksen tulokset

Huoneakustisista malleista saatiin puheensirtoindeksin ja äänen leviämismuunnoksen tuloksia mittaustilanteilla erilaisille tilanjakajille ja huonekorkeuksille. Verhojen osalta mallinnettiin erilaisia tilanjakumuotoja ja korkeuksia, kun taas seinäkkeen osalta eri leveyksiä ja korkeuksia sekä materiaaleja. Näiden lisäksi saatiin tuloksia myös tyhjän mallinnustilan osalta, jossa muuteltiin huonekorkeutta ja lattian sirontakerrointa kalustuksen simuloimiseksi. Jokainen erilaisen tilanteen mallinnustulos on esitetty liitteissä, jotka on jaoteltu seuraavasti:

- liite A: tyhjän tilan mallinnustulokset
- liite B: seinäkkeiden mallinnustulokset
- liite C: verhojen mallinnustulokset

Kuvassa 3.4 on esitetty esimerkki mallinnuksen tuloksista. Kuvassa ja liitteiden A–C kuvissa on käytetty seuraavia symboleita:

- seinäkkeen harjan korkeus lattianpinnan tasolta määritettynä h_s [m]
- verhon korkeus lattianpinnan tasolta määritettynä h_c [m]
- huonekorkeus h_r [m]
- puheensirtoindeksi STI
- äänitaso $L_{A,eq}$ [dB]. Kuvaajien y-akselilla äänitaso tarkoittaa puheen äänitason ja kuvaajien otsikoissa ilmanvaihtojärjestelmän tai peiteäänijärjestelmän tuottamaa äänitason. Nämä äänitasot ovat joko 30 dB tai 40 dB.
- pieni musta ympyrä ●: vastaanottopisteen paikka
- suuri musta ympyrä ●: äänilähteen paikka
- mustilla pystyviivoilla on esitetty seinäkkeiden ja verhojen paikat



Kuva 3.4. Esimerkki mallinnuksen tuloksista. X-akselin nollakohdassa on 1,3 m korkea seinäke.

3.6 Mallinnustulosten tarkastelu

3.6.1 Tyhjä tila

Tyhjän tilan mallintamisen tarkoituksena oli tutkia tilannetta, jossa opettaja puhuu koko oppilasryhmälleen sekä toisaalta sitä, miten peiteääni ja tilan korkeus vaikuttavat äänen leviämiseen, kun tilassa ei ole mitään äänen leviämiseen vaikuttavia esteitä. Lisäksi tutkittiin sitä, miten lattiapinnalle määritetty sirontakertoimen arvo (0,05 tai 0,07) vaikuttaa äänen leviämiseen (liite A). Käytännössä sirontakertoimen arvon muutos pienemmästä suurempaan johtaa noin 4 m lyhyempään häiritsevyysäteeseen r_D . Käytännössä lattian sironta ei ole ratkaisu äänen leviämisen rajoittamiseksi tilassa, koska tyhjässä tilassa häiritsevyysäteen arvot ovat yli 20 m silloin, kun taustäänitaso $L_{A,eq,B}$ on 30 dB. Käytännön suunnitteluhankkeissa lattian ja muidenkin pintojen sirontakertoimen arvoksi tulee valita kalustusta hyvin vastaava arvo, joka on joka tapauksessa suurempi kuin 0,05.

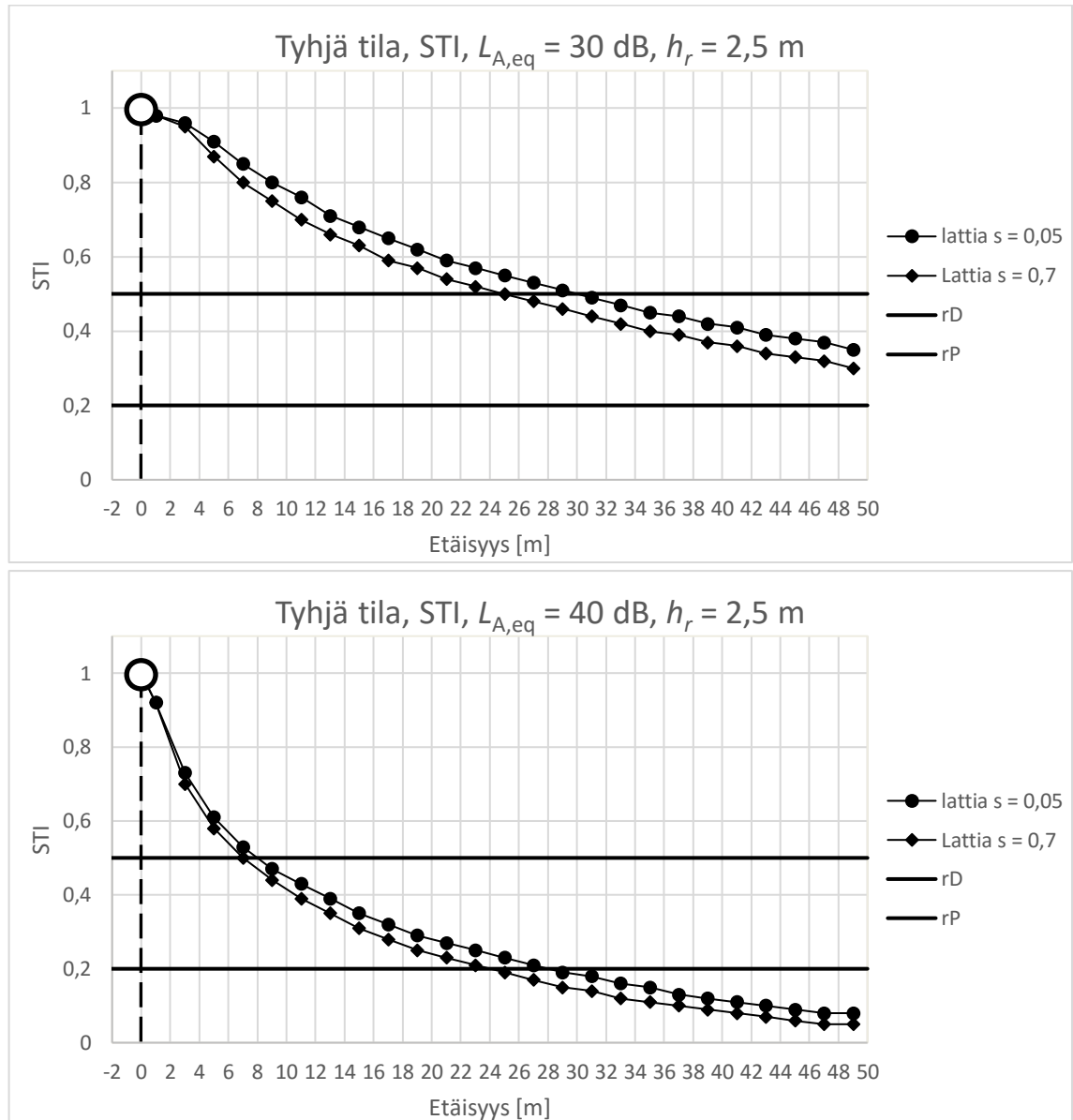
Tyhjän tilan korkeuden kasvattaminen 2,5 metristä 4,5 metriin pienentää häiritsevyysäteen arvoa noin 3 m ($L_{A,eq,B} = 30$ dB). Tämä johtuu lähinnä siitä, että äänen leviämismuutos hieman kasvaa, kun ääni joutuu katosta heijastuessaan kulkemaan pidemmän matkan. Jos tilaan järjestetään 40 dB peiteäänitaso, tilan korkeuden vaikutus kuitenkin lähes häviää eli peiteäänillä on huomattavasti suurempi vaikutus avoimen oppimisympäristön ääniolosuhteisiin kuin huonekorkeudella. Voi kuitenkin olla, että luokkahuonetta suuremmasta huonekorkeudesta voi olla avoimessa oppimisympäristössä jonkin verran etua. Toisaalta tilan korkeuden kasvaessa kaiunta lisääntyy, mikä merkitsee sitä, että sen hallitsemiseksi tarvitaan enemmän ääntä vaimentavia pintoja.

Kuvassa 3.5 on esitetty puheensirtoindeksin STI arvot etäisyyden suhteen, kun peiteäänin äänitaso $L_{A,eq,B}$ on 30 dB ja 40 dB. Kuvasta nähdään, että 2,5 m korkeassa oppimisympäristössä peiteäänitason nousu 10 desibelillä lyhentää häiritsevyysäteen r_D (STI = 0,5) arvon noin 25 metristä noin 11 metriin. Huonekorkeuden ollessa 4,5 m muutos on 23 metristä kuuteen metriin. Tyhjän tilan mallinnustulosten perusteella voidaan siten todeta, että peiteäänijärjestelmä on puheen häiritsevyyden ja edelleen keskittymistä vaativien tehtävien kannalta merkittävä tekijä.

Opetustyön ja oppimisen kannalta häiriöttömyyden lisäksi on tärkeää puheenerotettavuus ryhmä- ja paritöitä tehtäessä sekä silloin, kun opettaja puhuu koko opetusryhmälleen. Jos riittävän puheenerotettavuuden rajana pidetään puheensirtoindeksin STI arvoa 0,7, etäisyys, jolle opettaja voi puhua koko ryhmälle on 30 dB taustäänitason tilanteessa noin 8–10 m. Käytettäessä peiteääntä, jonka äänitaso on 40 dB, etäisyys on noin 3 m (kuva 3.5).

Taustäänitaso 30 dB tarkoittaisi käytännössä sitä, että opettajan antaessa ohjeita tai puheessa koko ryhmälleen ääni olisi selvästi kuultavissa lähes koko tilassa. Siten suurempi peiteäänitaso vaikuttaa tarkoituksenmukaiselta avoimessa oppimisympäristössä. Samalla tulos tarkoittaa myös sitä, että avoimessa oppimisympäristössä tarvitaan menettelyjä tai

sääntöjä sille, kuinka opettajien ja koululaisten tulee tilassa toimia. Kun tilassa on peiteäänijärjestelmä, opettajan tulisikin koota oppilaansa lähelleen puhuessaan koko ryhmälle.

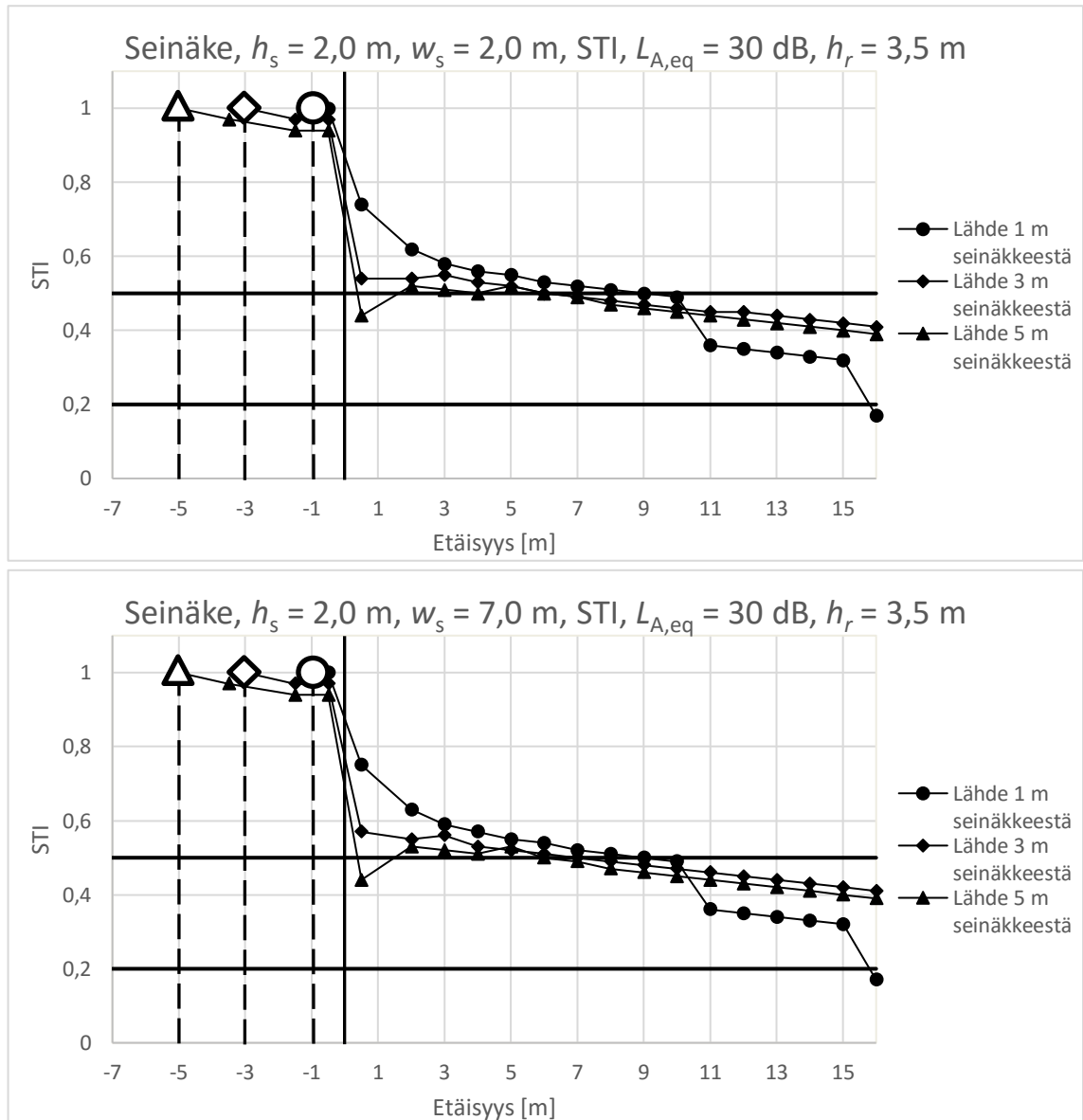


Kuva 3.5. Puheensirtoindeksi STI etäisyyden funktiona, kun taustäänitaso on 30 dB (yllä) ja peiteäänitaso on 40 dB (alla). Huonekorkeus on 2,5 m.

3.6.2 Seinäkkeet

Seinäkkeiden mallintamisen (liite B) tarkoituksena oli selvittää sitä, kuinka paljon tilanjakajilla voidaan vaikuttaa äänen leviämiseen avoimessa oppimisympäristössä. Myös seinäkkeiden vaikutuksia tutkittiin huonekorkeuksilla 2,5, 3,5 ja 4,5 m sekä taustäänitasolla 30 dB ja peiteäänitasolla 40 dB. Yksi keskeinen tekijä on suoran äänen eli esteettä puhujalta vastaanottopisteeltä kulkevan äänen etenemisen rajoittaminen. Kun avoimeen oppi-

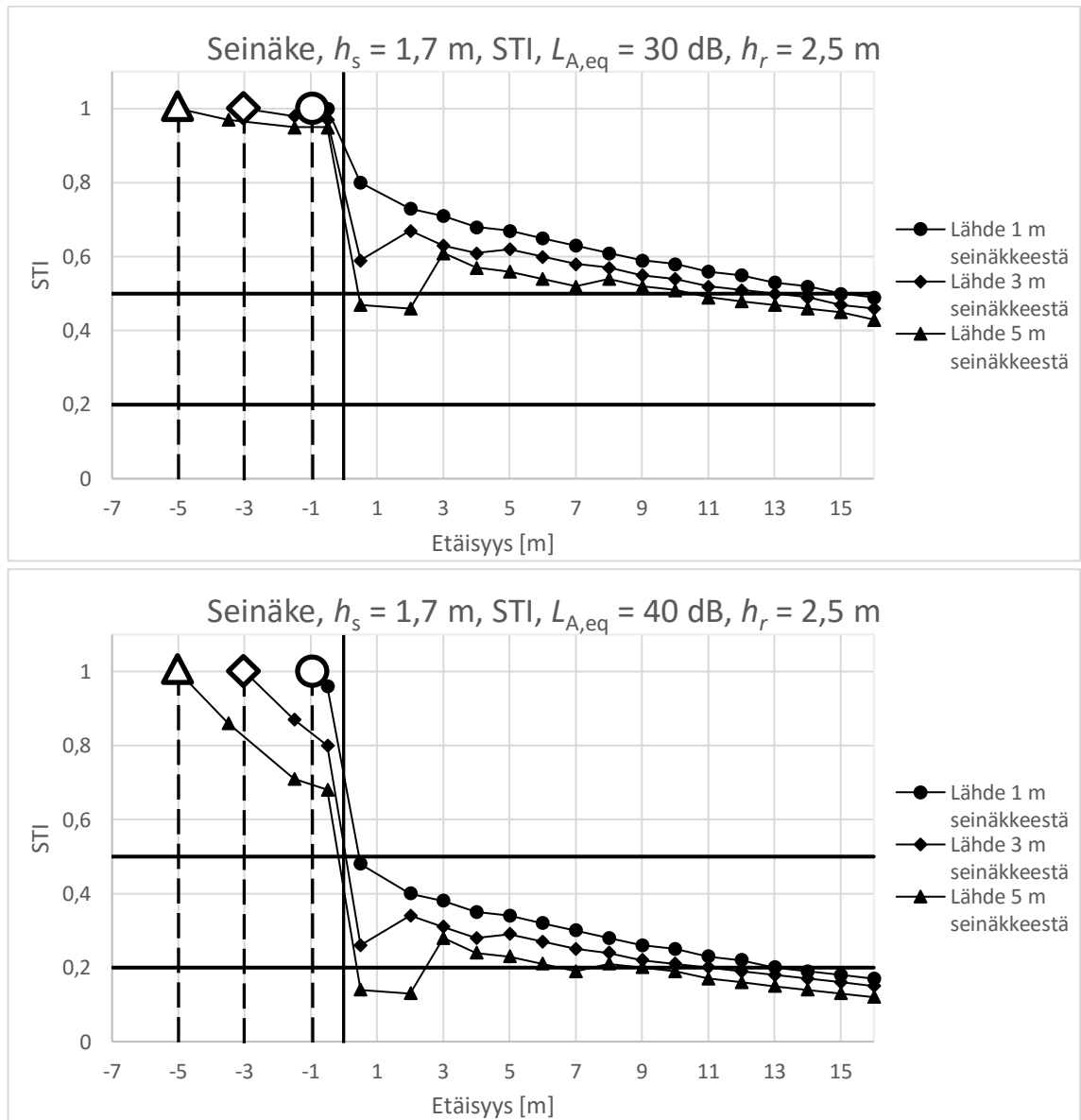
misympäristöön halutaan järjestää alueita, joissa on erityisen hyvät mahdollisuudet rauhoittumiseen tai keskittymistä vaativien tehtävien tekemiseen, tilanjakajien käyttö on välttämätöntä. Tärkeää on suoran äänen kulkureitin katkaiseminen (kuva 3.6). Kun näin on tehty, tilanjakajan leveyden kasvattaminen vähentää puheensirtoindeksin STI arvoa enää rajallisesti yhden kuuntelupisteen kannalta (liite B). Leveä tilanjakaja tietenkin vaikuttaa suuremmalle alueelle kuin kapea.



Kuva 3.6. Puheensirtoindeksi STI etäisyyden funktiona, kun taustäänitaso on 30 dB ja 2 m korkean seinäkkeen leveys on 2 m (yllä) ja 7 m (alla) Huonekorkeus on 3,5 m.

Korkeudeltaan varsin maltillinen tilanjakaja ($h_s = 1,7$ m) lyhentää häiritsevyys säteen r_D arvoa (kuva 3.7) noin 10–12 m verrattuna tyhjän tilaan, kun taustäänitaso on 30 dB (kuva 3.5). Yksityisyyssäteen r_P määrittävää puheensirtoindeksin arvoa 0,2 ei kuitenkaan 30 dB taustäänitasolla saavuteta vielä 15 m etäisyydelläkään seinäkkeestä. Järjestämällä tilaan peiteäänitasoksi 40 dB häiritsevyys säteen määrittävä puheensirtoindeksin arvo

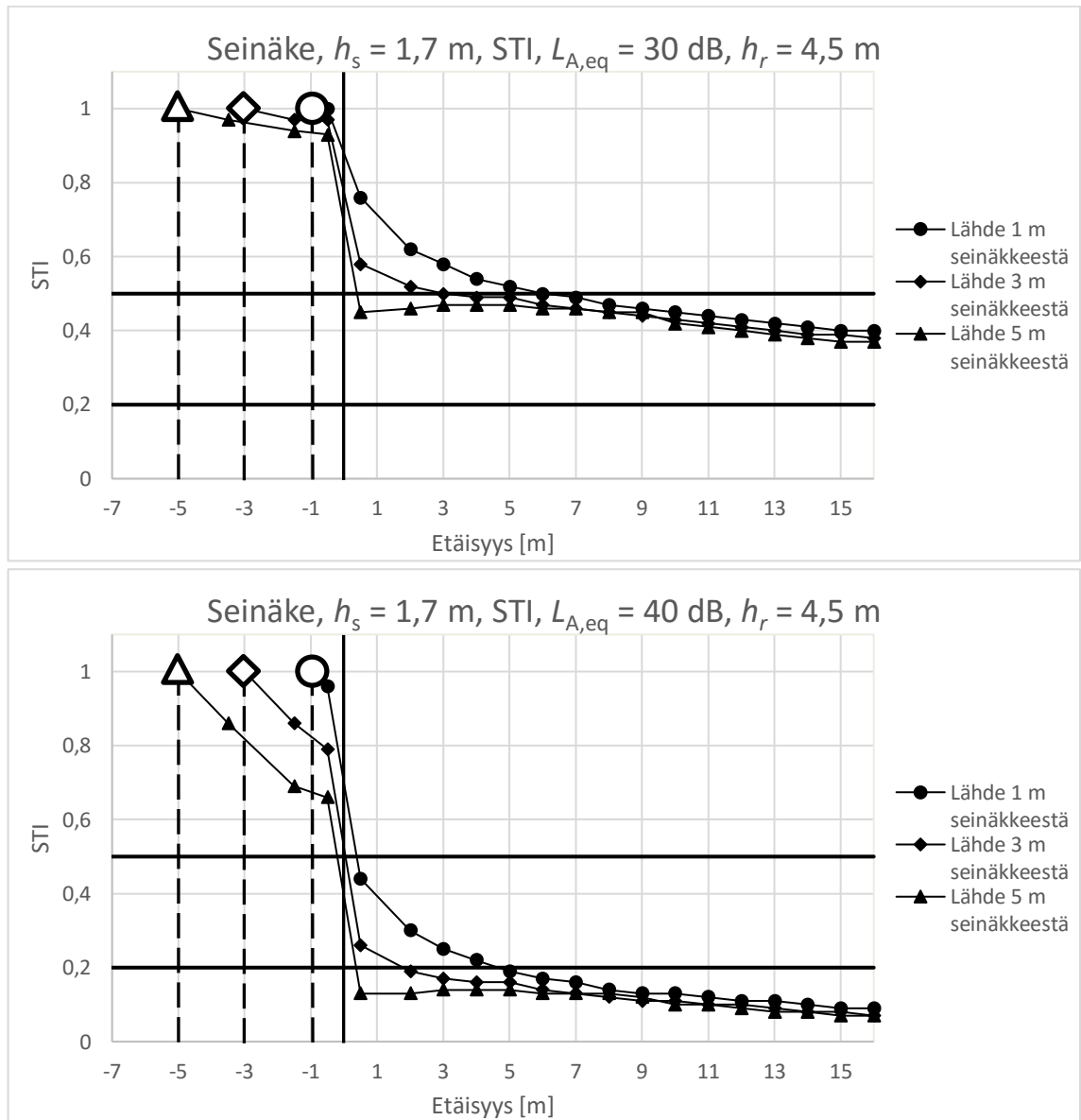
0,5 voidaan saavuttaa jo heti seinäkkeen takana. Yksityisyysasteen määrittelevä STI:n arvo 0,2 saavutetaan 6–12 m etäisyydellä seinäkkeestä riippuen siitä, millä etäisyydellä äänilähde on seinäkkeestä.



Kuva 3.7. Puheensirtoindeksi STI etäisyyden funktiona, kun taustäänitaso on 30 dB (yllä) ja peiteäänitaso on 40 dB (alla). Seinäkkeen korkeus on 1,7 m ja huonekorkeus 2,5 m.

Kuvassa 3.8 on esitetty 1,7 m korkean seinäkkeen vaikutus puheensirtoindeksin STI arvoon, kun tilan huonekorkeus on 4,5 m. Kuten tyhjässäkin tilassa, huonekorkeus pienentää häiritsevyysasteen r_D ja yksityisyysasteen r_P arvoa verrattuna 2 m matalampaan tilaan. Kuten kappaleessa 3.6.1 on todettu, tämä johtuu siitä, että äänen leviämismuunnos jonkin verran kasvaa, koska katosta heijastuvan äänen on kuljettava pidempi matka kuuntelupisteeseen. Taustäänitason ollessa 30 dB häiritsevyysasteen arvo on jopa 10 m pienempi kuin matalassa tilassa. Kun käytetään 40 dB peiteäänitasoa, yksityisyysasteen arvo

voi pienentyä 8 m tai enemmän. Tämäkin seikka viittaisi siihen, että huonekorkeuden kasvattaminen voi olla avoimessa oppimisympäristössä edullista. Samalla on kuitenkin huolehdittava ääntä vaimentavien pintojen pinta-alan riittävydestä.



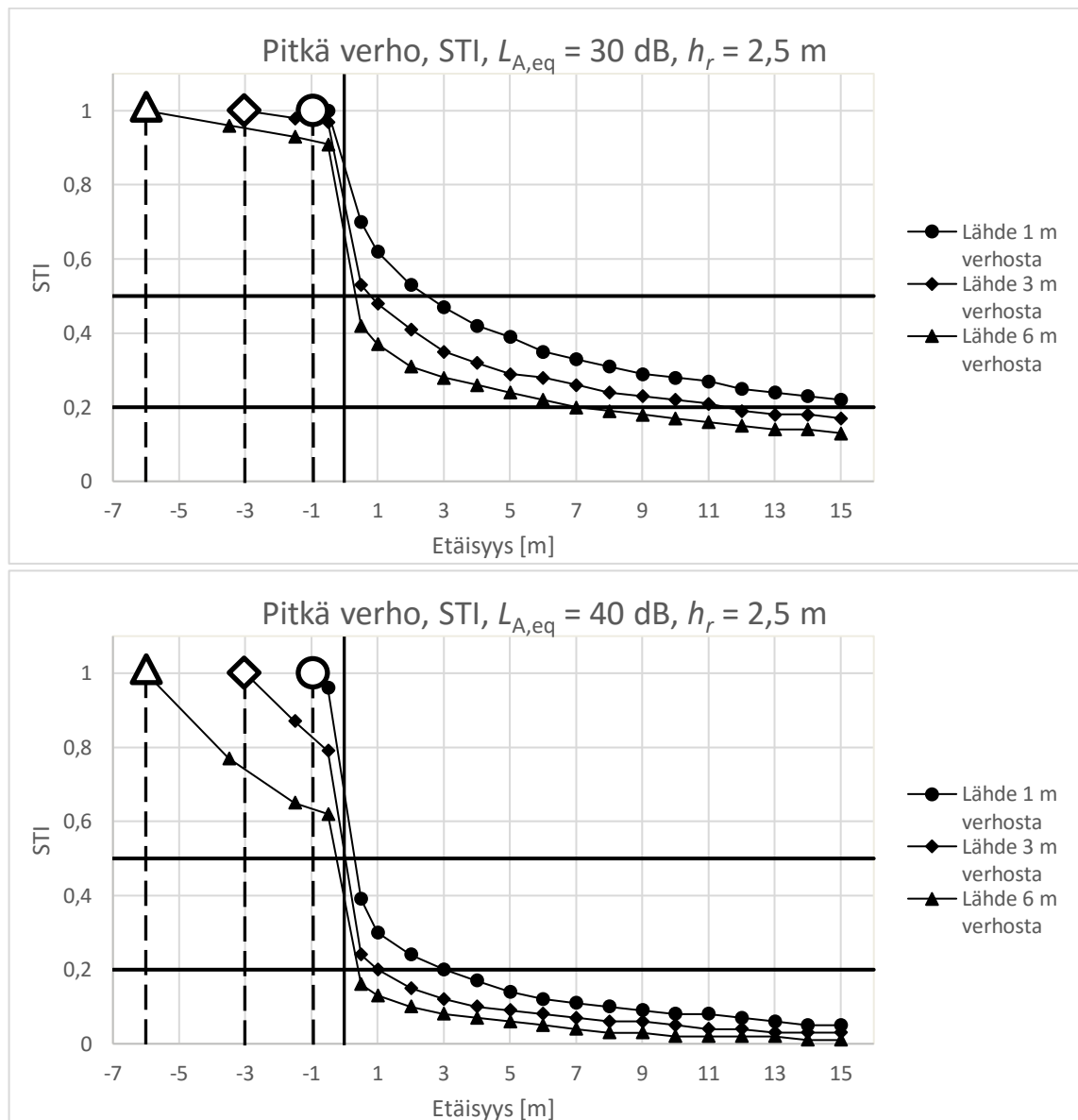
Kuva 3.8. Puheensirtoindeksi STI etäisyyden funktiona, kun taustäänitaso on 30 dB (yllä) ja peiteäänitaso on 40 dB (alla). Seinäkkeen korkeus on 1,7 m ja huonekorkeus 4,5 m.

Kuvista 3.7 ja 3.8 havaitaan, että aivan seinäkkeen takana puheensirtoindeksin arvo voi olla hyvinkin alhainen. Tämä johtuu siitä, että tälle alueelle ei voi tulla äänen heijastusta katosta, ja lähellä seinäkettä havaittava ääni on seinäkkeen harjan kautta sironnutta ja seinäkkeen rakenteen kautta kuuntelupisteen puolelle kulkenutta vaimentunutta ääntä (kuva 3.2). Havainnolla ei kuitenkaan ole suurta merkitystä, koska 0–1 m etäisyydellä seinäkkeestä ei ole mahdollista oleskella. Kauempana seinäkkeestä puheensirtoindeksin

STI arvo jälleen kasvaa ja alkaa tämän jälkeen taas laskea. Vasta tämä suuremmalla etäisyydellä tapahtuva lasku on tilan ääniolosuhteiden kannalta merkittävää.

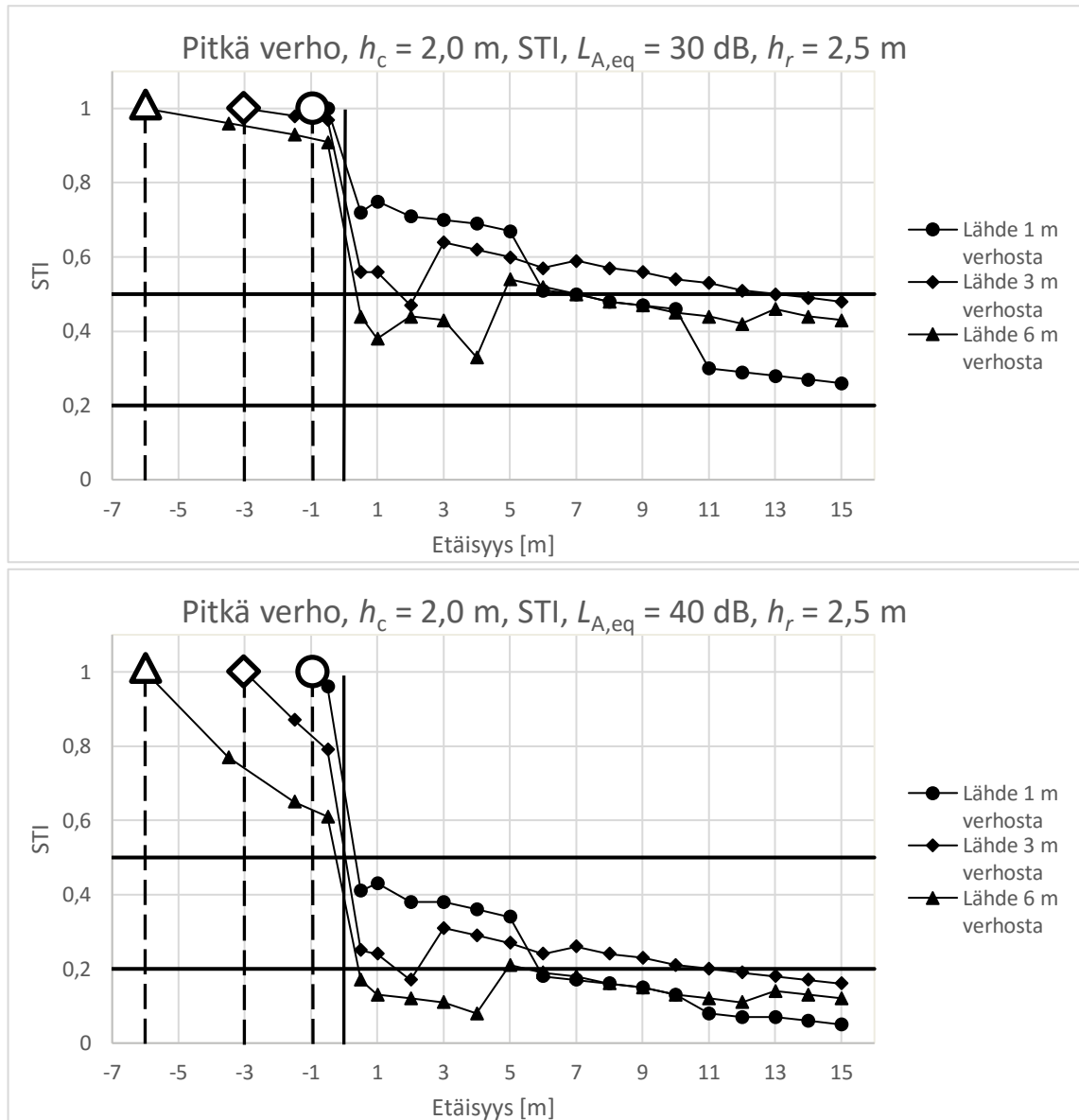
3.6.3 Verhot

Ilmanvaihtojärjestelmän salliessa verhot voidaan ulottaa lattiasta kattoon asti. Jos oletetaan, että verhot ovat täysin tiiviisti kiinni katossa ja lattiassa eli verhojen ja ympäröivien rakenteiden välissä ei ole rakoja, verhoilla voidaan saavuttaa vastaava häiritsevyyssäde ja yksityisyssäde kuin seinäkkeillä, joiden korkeus on 1,7 m (kuva 3.9). Verhot tässä mallinnustilanteessa ulottuivat seinästä seinään eli ne jakoivat tilan kokonaan kahteen osaan. Tällaisessa tilanteessa huonekorkeudella ei ole käytännön merkitystä (liite C).



Kuva 3.9. Puheensirtoindeksi STI etäisyyden funktiona, kun taustäänitaso on 30 dB (yllä) ja peiteäänitaso on 40 dB (alla). Verhot (Gerriets) ulottuvat yhtenäisenä lattiasta kattoon eikä välissä ole rakoja. Huonekorkeus on 2,5 m.

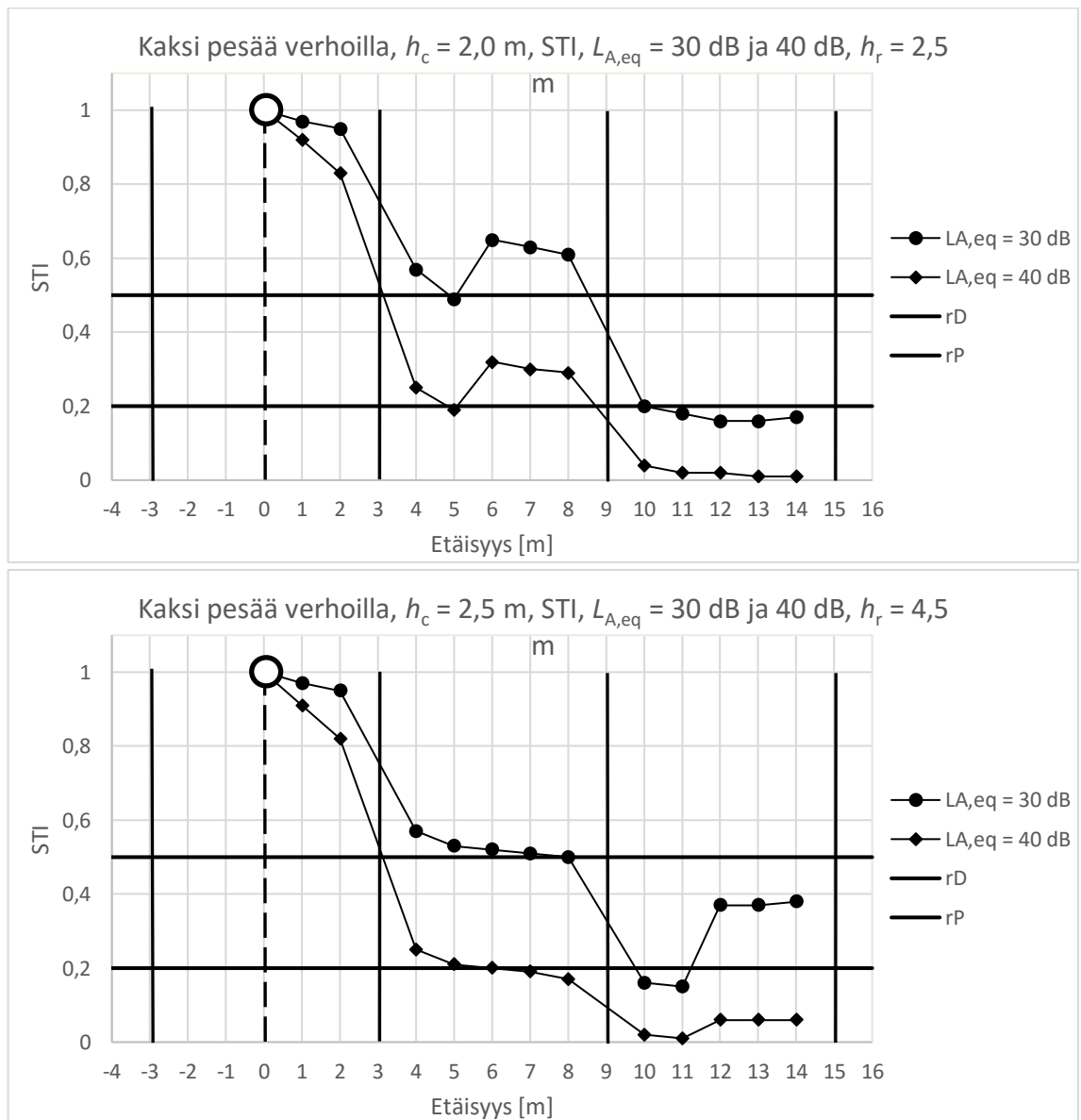
Käytännössä verhot luultavasti ripustettaisiin avoimeen oppimisympäristöön siten, että niiden yläreunan ja katon väliin jäisi rako. Tällöin 2,5 m korkeassa tilassa verhojen vaikutus heikkenee huomattavasti, kun taustäänitaso on 30 dB. Peiteäänijärjestelmää käytettäessä muutos on selvästi pienempi (kuva 3.10). Tässä tilanteessa huonekorkeudella jälleen on jonkin verran merkitystä: 4,5 m korkeassa huoneessa häiritsevyys- ja yksityisyysasteet ovat muutaman metrin lyhyempiä kuin 2,5 m korkeassa tilassa.



Kuva 3.10. Puheensirtoindeksi STI etäisyyden funktiona, kun taustäänitaso on 30 dB (yllä) ja peiteäänitaso on 40 dB (alla). Verhot (Gerriets) ulottuvat yhtenäisenä lattiasta 2 m korkeudelle. Huonekorkeus on 2,5 m.

Kuvien 3.9 ja 3.10 tapauksissa verho on huoneakustisessa mallissa ulottunut koko tilan läpi seinältä seinälle. Käytännössä avoimeen oppimisympäristöön tällaista tilannetta tuskin voitaisiin järjestää eikä se tilan käytönkään kannalta olisi tarkoituksenmukaista. Sitä vastoin verhoilla todennäköisesti rajattaisiin pienempiä alueita, ns. pesiä. Käytännön

suunnittelutyön kannalta mielenkiintoisia ovat tulokset, joissa verhoilla on muusta tilasta erotettu kaksi ympyränmuotoista pesää. Kummankin pesän halkaisija on 6 m ja pohjapinta-ala siten noin 28 m². Pesien etäisyys toisistaan on 6 m. Kuvassa 3.11 on esitetty puheensirtoindeksin arvot tilanteissa, joissa huonekorkeus on 2,5 m tai 4,5 m ja äänitaso joko taustäänitaso 30 dB tai peiteäänitaso 40 dB. Verhon korkeus on 2,0 tai 2,5 m. Kuvasta nähdään, että verhoihin rajattujen pesien välillä voitaisiin saavuttaa puheyksityisyyttä.



Kuva 3.11. Puheensirtoindeksi STI etäisyyden funktiona, kun huonekorkeus on 2,5 m (yllä) ja 4,5 m (alla). Taustäänitaso on 30 dB ja peiteäänitaso on 40 dB. Verhot (Gerriets) ulottuvat matalammassa tilanteessa lattiasta 2 m korkeudelle ja korkeammassa 2,5 m korkeudelle. Verhoihin on rajattu kaksi ympyränmuotoista pesää, joiden halkaisijat ovat 6 m. Pesien välinen etäisyys on myös 6 m.

Tulokset osoittavat, että avoimessa oppimisympäristössä äänen leviämiseen voidaan vaikuttaa myös seinäkkeitä ja muita kalusteita kevyemmällä ratkaisulla. Huomattavaa kuitenkin on, että mallinnuksessa käytettiin verhoja, joilla on esimerkiksi raskaitakin (300–500 g/m²) teatteriverhoja huomattavasti parempi ilmaääneneristävyys. Pelkästään ääntä absorboivien verhojen vaikutus äänen leviämisvaimennukseen ja edelleen puheenerotettavuuteen on todennäköisesti merkittävästi pienempi.

4. HUONEAKUSTIIKAN MITTAUKSET

4.1 Mittaustarve

Kirjallisuuskatsauksessa havaittiin, että avointen oppimisympäristöjen akustiikka on keskeisessä asemassa tilankäytön ohella tilojen toimivuuden kannalta. Ulkomailla on mitattu avoimien oppimisympäristöjen ääniolosuhteita 1960-luvulta asti, mutta Suomessa avoimia oppimisympäristöjä on tutkittu vain osittain avoimien osalta.

Tutkimuskirjallisuuden mukaan opetusryhmien välisen puheen erotettavuuden pienentäminen on tärkeää. Tätä ei kuitenkaan ole aina mitattu ulkomaisissa tutkimuksissa, vaan usein on keskitytty pelkästään opetusryhmän sisäisen puheenselvyyden tutkimiseen. Hellerupin koulusta Tanskassa on mitattu muutostöiden jälkeen myös tilojen välisen puheensirtoindeksin STI raja-arvon 0,2 alittumista, kun tiloihin lisättiin absorptiomateriaaleja sekä seinäkkeitä.

Puheenerotettavuuden osalta mittausmenetelminä on käytetty joko objektiivista akustiikkamittausta äänilähteellä ja vastaanottimilla tai subjektiivisempaa kyselyä tilojen käyttäjille (oppilaat ja opettajat), joka on suhteutettu objektiiviseen puheensirtoindeksiin. Etenkin täysin avointen oppimisympäristöjen akustiikan osalta Suomessa on tutkimustarvetta. Mittauksin selvitettiin äänen leviämismuutoksen $D_{2,s}$ sekä häiritsevyyssäteen r_D ja yksityisyysäteen r_P arvot. Lisäksi mitattiin jälkikäikunta-aika T .

Mittauksin tutkittiin neljää täysin avointa oppimisympäristöä kolmessa vuonna 2016 valmistuneesta alakoulusta. Koulujen valintaan vaikuttivat kirjallisuustutkimuksen tulokset siitä, että täysin avointen oppimisympäristöjen osalta akustiikka on vieläkin kriittisempää verrattuna osittain avoimiin oppimisympäristöihin. Päätökseen täysin avoimista oppimisympäristöistä vaikutti myös se, että niistä ei ollut ollenkaan tutkimustuloksia Suomessa.

Mittauskohteiden osalta mietittiin myös sitä, minkä ikäisten oppilaiden avoimia oppimisympäristöjä tulisi mitata. Kirjallisuustutkimuksessa kävi ilmi, että nuorimmat lapset ovat avointen oppimisympäristöjen akustiikan kannalta kriittisimpiä, sillä heillä kuullun ymmärtäminen on kehittymässä kohti aikuisten kuullun ymmärtämistä. Mittauskohteeksi rajautuivat siten alakoulut muiden mahdollisten opetusrakennusten joukosta (päiväkodit, yläkoulut, ammattikoulut, lukiot, yliopistot). Päiväkodit, käytännössä ottaen esikoulut, jätettiin mittausten ulkopuolelle, sillä alakoulujen opetuksen tavoitteet ja aikajatkumo nähtiin tärkeämmäksi.

Koulujen kaksi ja kolme avoimet oppimisympäristöt olivat avoimuuksiltaan samanlaisia, kun taas koulun yksi avoimessa oppimisympäristössä oli edellisiä enemmän vaihtoehtoja

tilojen rajauksen ja tilanjakajien suhteen. Mitatut avoimet oppimisympäristöt olivat lähellä toisiaan pohjapinta-aloiltaan; pohjapinta-alat sijoittuivat välille 177–230 m².

Jokaiseen mitattavaan kouluun sovittiin erikseen mittauspäivämäärät ja tarkat mittausajankohdat, joiden yhteydessä haastateltiin mitattavien avointen oppimisympäristön opettajia tilankäytöstä, akustiikasta sekä muista kirjallisuustutkimuksesta ilmenneistä mahdollisesti tärkeistä seikoista.

4.2 Mittauskohteet

4.2.1 Koulu yksi

Koulusta yksi mitattiin tänä vuonna valmistunut koululaajennus, joka on erillään päärakennuksesta. Tämän laajennusrakennuksen ensimmäinen lukukausi käynnistyi syksyllä 2016. Koulusta mitattiin yhden opetusmoduulin avoin oppimisympäristö. Moduuli on kooltaan 230 m² ja se on jaettu neljään opetustilaan. Moduulia käyttää 52 neljännen luokan oppilasta sekä kaksi opettajaa. Moduulin lisäksi oppilailta on käytettävissään moduuliin johtava 50 m² oppilasaula, joka on kalustettu opiskelukäyttöön sekä noin 26 m² kotipesä, jota käytettiin pääosin erityisopetuksen tarpeisiin. Rakennus on yksikerroksinen. Kahden ensimmäisen opetustilan huonekorkeus on 3,0 m ja kahden seuraavan 2,8 m (ks. kuva 63).

Moduulin opetustiloilla on erilaiset käyttötarkoitukset: yksi toimii pääopetustilana, johon kaikki oppilaat sopivat kokoontumaan, toinen kuvaamataidon tilana, sekä kolmas ja neljäs ryhmätyötiloina. Näiden lisäksi alueiden keskellä on verhoilla rajattu pohjapinta-alaltaan ympyrän muotoinen oppimispesä, jossa on muutama työskentelytaso sekä pitkä kaarimainen sohvaryhmä. Opetustilat kolme ja neljä on mahdollista erottaa toisistaan verholla. Pääopetustilan ja toisen opetustilan välissä on rivi 2,1 m korkeita kaappeja sekä verho-kisko, joka mahdollistaa lisäeristyksen verhoilla. Tilakokonaisuudet yksi ja kaksi sekä kolme ja neljä on mahdollista erottaa toisistaan täysin siirtoseinillä, mutta siirtoseinät olivat mittaus tilanteessa vain noin puoliksi auki – tämä on myös yleisesti pidetty siirtoseinien asento. Pääopetustilan siirtoseinän ja ulkoseinän rajaamassa nurkkauksessa sijaitsee musiikki-instrumentteja. Musiikkituntia saatettiin pitää joko pelkästään pääopetustilassa tai sekä pääopetustilassa että jommassakummassa ryhmätyötilassa [43]. Valokuvia mitatusta tilasta on esitetty kuvissa 4.1 ja 4.2.

Mittauspäivään mennessä tilassa oli ehtinyt olla opetuskäyttöä noin kaksi kuukautta. Toinen tilan opettajista kuitenkin kertoi, että vastaavanlaista kalustusta ja tilankäyttöä oli harjoiteltu etukäteen edellisellä lukukaudella vanhan koulurakennuksen läheisyyteen rakennetussa lisärakennuksessa. Mitatun koulurakennuksen suunnitteluryhmässä oli ollut jäsenenä avoimessa oppimisympäristössä nyt työskenteleviä opettajia. Kalustesuunnittelija oli suunnitellut pääopetustilan lattialle katsomoalueiden eteen useita pallirivistöjä, mutta opettajat olivat todenneet tämän ratkaisun toimimattomaksi ja he olivat siirtäneet

0,45 m x 0,45 m x 0,45 m pallit katsomokalusteiden istuinrivien päälle. Opettajan mielestä siirtoseiniä ei ollut tarve pitää kiinni, vaan ne olivat pääasiassa mittaustilanteenkin aikana olleessa asennossa osittain auki. Opettaja arvioi tilan toimivan maksimissaan 80 – 90 oppilaalla.

Oppilailla oli käytettävissään myös sähköinen avoin oppimisympäristö, mutta sen käyttö koulualueella oli toistaiseksi vähäistä langattoman verkon yhteysongelmien vuoksi. Oppilaat jaettiin enintään neljään isompaan ryhmään. Musiikkitunnilla kaikki oppilaat olivat koolla, mutta tällöinkin oli mahdollista jakaa oppilaat kahteen ryhmään, jolloin yksi ryhmä jäi pääopetustilaan ja toinen siirtyi joko opetustilaan kolme tai neljä. Tällöin koettiin häiritseväksi, mikäli vain toinen ryhmä esimerkiksi soitti instrumentteja. Mikäli molemmat ryhmät musisoivat, toisen ryhmän musisointi ei haitannut. Mikäli tilaa oli tarvetta jakaa osiin verhoilla tai muilla tilanjakajilla, opettajat kiersivät enemmän oppilaiden keskuudessa. Korkeita tilanjakajia ei koettu haitallisiksi tai opetusta häiritseviksi. [43]



***Kuva 4.1.** Koulun 1 neljännen luokan avoimen oppimisympäristön ensimmäinen opetustila opintoriin päin kuvattuna.*

Kuvassa 4.1 näkyy opetustilaa yksi ja kaksi rajaava kaapisto, etu- ja takaosan välissä olevat siirtoseinät, katsomomalliset istuinalueet, verhoiskot, verhot, muut istuimet sekä musiikkitilaa rajaavat seinäkkeet. Pehmustetut pallit olivat katsomoistuinten päällä kuvan osoittamalla tavalla koko mittauksen ajan. Haastateltu opettaja kertoi tilan käytön muuttuvan ongelmalliseksi, mikäli pallit lasketaan tilan lattialle istuinkäyttöön. Opetustilaa yksi ja kaksi jakavan kaapiston päällä näkyy myös istuinpehmusteita. Kuvassa näkyy myös mittauskalustoa. Mikrofonitelineen mikrofoni on mittauskorkeudessa 1,0 m.



Kuva 4.2. Koulu 1, kuvaussuunta kolmannesta opetustilasta kohti neljättä opetustilaa ja keskustoria.

Kuva 4.2 on otettu kolmannesta opetustilasta opintoriin päin. Kuvasta on havaittavissa verhokiskojen sijainnit, verhot, pöydät, pehmeät kangaspäällysteiset pallit, siirtoseinät (vihreän sävyiset elementit), esiintymislava vasemman puoleisten seinäkkeiden edessä sekä kuvan oikealla puolella matalia kaapistoja, jossa oppilaat säilyttävät tavaroitaan; perinteisiä pulpetteja ei tilassa ole. Vihertävän kellertävät hattaran näköiset tilaelementit ovat ohuita ja pehmeitä kankaalla päällystettyjä absorptiomielessä toteutettuja objekteja. Opintorin avoimen osan läpi katsottaessa on havaittavissa myös opetustilaa yksi ja kaksi jakava korkea kaappilinjasto. Kaappien kuvassa näkyvällä puolella – takapuolella – on pehmustettua pintaa, johon voi kiinnittää esimerkiksi oppilaiden töitä. Valaisimet oli upotettu alakattoon samalle korkeudelle kuin akustiikkalevytkin. Näin oli menetelty myös ilmastoinnin tuloilmalaitteiden suhteen.

4.2.2 Koulu kaksi

Työn toisessa mittauskohteessa mitattiin kaksi avointa oppimisympäristöä, joista toinen oli avoin koulun aulaan ja tämän kautta ruokalaan, joka sijaitsi rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa; molemmat mitatut tilat sijaitsivat rakennuksen toisessa kerroksessa.

Koulurakennus on juuri valmistunut uudisrakennus, jonka ensimmäinen lukukausi alkoi elokuussa 2016. Rakennuksen kantavat rakenteet ovat teräsbetonia ja kevyet väliseinät kipsilevyä. Molempien mitattujen oppimisympäristöjen alakatot olivat akustiikkalevytetytjät alaslaskulla. Avoimen oppimisympäristön kaksi (kuvat 4.3 ja 4.4) huonekorkeus oli 3,0 m ja sen käytävän sekä otsapinnan osalta huonekorkeus 2,5 m. Otsapinnan ja käytävän osalta akustiikkalevytys oli reikälevy. Tämän lisäksi tilassa oli alakatosta roikkuvia pyö-

reitä akustiikkalevyjä, jotka olivat erikokoisia ja eri korkeuksilla välillä 2,5–2,7 m. Avoimen oppimisympäristön yksi huonekorkeus oli lähes sama kuin avoimen oppimisympäristön kaksi; myös avoimessa oppimisympäristössä yksi oli alakatosta roikkuvia absorptioelementtejä. Tiloissa oli seinäkkeitä ja hyllyjä, joiden korkeudet olivat 1,3 m. Hyllyjen ovettomalla puolella oli tekstiilinen kiinnitysalusta, jolla on mahdollisesti ääntä absorboivia ominaisuuksia.

Tiloissa oli myös kuvien 4.3 ja 4.4 osoittamilla paikoilla osittain läpinäkyvät verhot. Lattiapäällysteenä tiloissa oli muovimatto. Lisäksi avoimessa oppimisympäristössä yksi oli kaksi tekstiilipäällysteistä katsomoelementtiä. Kuvien 4.3 ja 4.4 pyöreiden opetusalueiden kohdalla muovimaton päällä oli pyöreät kangasmatot. Opetusalueita ei ollut rajattu tilanjakajilla tai kalusteilla. Luokkien seinillä ei ollut verhoja mutta tällaiset olivat mahdollisesti tulossa. Tiloja oli ehditty käyttää noin kuukauden verran ennen mittauksia. Osa tilojen istuimista oli nahka-, tekstiili- tai vaahtomuovipintaisia palleja.

Avoimessa oppimisympäristössä yksi oli 31 viidennen vuosikurssin oppilasta ja 30 kuudennen vuosikurssin oppilasta. Tilassa työskenteli kolme opettajaa, joista yksi oli luokan opettaja, toinen kielten opettaja ja kolmas erityisopettaja. Noin 30 % oppitunneista kaikki oppilaat ovat tilassa yhtä aikaa. Oppilaita jaetaan maksimissaan neljään ryhmään, joista jotkin ryhmät voivat olla opiskelemassa eri tiloissa. Yksi tilan opettajista kertoi ensimmäisen kerroksen ruokalasta kantautuvien ruuan tuoksujen olevan häiritsevämpää kuin ruokalasta kantautuvan melun. Opettaja kertoi myös, että he siirtelevät tilassa mieluummin oppilaita kuin kalusteita [45]. Avoimen oppimisympäristön yksi kalustuksen järjestys mittauksen aikana esitettynä kuvissa 4.3 ja 4.4.

Kuvasta 4.3 voi havaita pehmustetut katsomomalliset istuin alueet, kangaspäällysteiset pehmeät pallit, pääopetusalueita hahmottava tekstiilimatto, kaapistot, verhot sekä verhojen takana olevat pitkät pöytäryhmät. Verhoista voidaan havaita, että niistä näkyy hyvin läpi. Kuvan vasemmalla puolella on pimeää aluetta, joka on käytävää. Tämän käytävän yhteyteen avautuu ensimmäisen kerroksen ruokala.

Kuvasta 4.4 voi havaita pienemmät pöytäryhmät, alakattoa matalampana leijuvat pyöreät akustiikkalevyt, kuvassa 4.3 näkyvän kaapiston sekä pienempien pöytäryhmien tilaa ja pääopetustilaa rajaavan verhon, joka on samaa materiaalia kuin kuvassa 4.4. Kuvan vasemmassa reunassa olevat ovi, seinä ja ikkuna rajaavat pienryhmätilan. Istuimien ja pöytien alla on rullat. Ikkunan edessä on havaittavista pöytätaso. Kuva 4.3 on otettu pienryhmätilan ja kaapiston kulmuksesta.



***Kuva 4.3.** Avoin oppimisympäristö yksi. Kuvaussuunta pääopetustilan etuosasta pitkiin pöytäryhmiin päin.*



***Kuva 4.4.** Avoin oppimisympäristö yksi. Kuvaussuunta pienistä pöytäryhmistä pääopetustilaan päin.*

Avoimessa oppimisympäristössä kaksi oli ensimmäisen ja toisen vuosikurssin oppilaita yhteensä 72 kappaletta. Tilan oppilaat ovat tilassa yhtä aikaa noin 13 %. Oppilaat jaetaan maksimissaan neljään ryhmään, joista jotkin ryhmät voivat opiskella eri tiloissa, kuten avoimen oppimisympäristön yksi oppilaat. Tilassa on viisi opettajaa. Puolet vuosiluokkalisista tulee porrastetusti aikaisemmin aamulla opiskelemaan. Tällöin paikalla olevat oppilaat voidaan jakaa yhdeksänkin hengen ryhmiin. Yhden tilassa opettavan opettajan mielestä tilan akustiikkaelementeistä on hyötyä ja jälkikaiunta-aika on lyhyt, mikä on hänen

mielestään hyvä asia. Tilassa siirrellään huonekaluja mutta vain verhojen rajaamien alueiden sisällä. Opettajan mielestä kalusteiden käytöstä tai siirtelystä ei koidu häiritsevää melua [46]. Avoimen oppimisympäristön kaksi kalustuksen järjestys mittauksen aikana on esitettyinä kuvissa 4.5 ja 4.6.

Kuvassa 4.5 näkyy avoimen oppimisympäristön etuosa sekä keskeisin opetuspesä, jossa pidetään myös musiikkitunteja; tämä näkyy kuvan oikeassa reunassa ruskealla tekstiilimatolla rajattuna alueena. Etuosan pöydissä ei ollut rullia, mutta istuimissa oli. Ensimmäisten pöytäryhmien takana näkyvät ensimmäiset kaapit ja näiden oikealla puolella kaksi seinäkettä. Lamput ja ilmanvaihdon tulopäät on upotettu alakaton akustiikkalevytyksen tasoon. Ikkunaseinustalle oli mahdollisesti myöhemmin tulossa verhoja. Kuvasta 58 on myös nähtävissä oikeassa yläkulmassa alakaton otsapinta, jonka alempi korkeus on myös käytävän korkeus.

Kuvasta 4.6 nähdään pienempien pöytäryhmien tila, jonka perällä on toinen keskeinen opetusalue, minkä rajauksena on lattialla ruskea tekstiilimatto, kuten kuvassa 4.5. Takaseinustalla olevan liu'utettavan oven kautta oli mahdollista päästä pienryhmätilaan, jota kautta puolestaan oli mahdollista päästä viereiseen avoimeen oppimisympäristöön. Kuvan oikean reunan seinustalla oli ovet varastotilaan sekä toiseen pienryhmätilaan. Kuten kuvassa 4.5, on tästäkin kuvasta havaittavissa videoprojektori ja sen heijastussuunta. Katossa näkyy tyhjä verhokiskon paikka, johon on mahdollista tulevaisuudessa asentaa vielä yhdet tilaa jakavat verhot. Takaosankin ikkunaseinillä on verhokiskot mahdollista myöhempiä asennusta varten. Takaseinän taulun absorptio-ominaisuuksista ei ole varmaa tietoa.



Kuva 4.5. Avoin oppimisympäristö kaksi. Kuvaussuunta tilan etuosasta taaksepäin.



Kuva 4.6. Avoin oppimisympäristö kaksi. Kuvaussuunta tilaa jakavien verhojen vierestä tilan takaosaa päin.

4.2.3 Koulu kolme

Kolmas mitattu koulu on juuri korjattu sisäilmaongelmien vuoksi, jonka yhteydessä luokahuoneet muutettiin avoimiksi oppimisympäristöiksi [47]. Koulun opetussuunnitelma tähtää oppilaiden yritteliäisyyteen, jota tavoitellaan luovuuden, esiintymisvalmiuksien, oppimisen ilon, vaikutusmahdollisuuksien, tavoitteellisen ja vastuullisen toiminnan sekä omatoimisuuden ja oma-aloitteisuuden kautta. Henkilöstöä on asetettu ohjaamaan innovatiivisuus, vastuullisuus, ammattitaidon ylläpitäminen ja verkostoituminen sekä kehittäminen. Opetussuunnitelma painottaa arvoista oikeudenmukaisuutta, avoimuutta, rehellisyyttä, luovuutta, työniloa, ihmisten erilaisuuden kunnioittamista, vastuullista työskentelyä, kestävästä kehitystä sekä turvallista oppimis- ja työympäristöä. Koulu tähtää oppilaslähtöiseen opetukseen. [48]

Koulusta mitattiin kolmannen vuosiluokan avoin oppimisympäristö; pohjapinta-alaltaan tila on 218,5 m². Tilaa käyttää 52 oppilasta sekä kaksi opettajaa. Aloitustilaisuudet voivat olla koko oppilasmäärän voimin oikean puoleisessa oppimispesässä, jonka jälkeen oppilaat hajautetaan maksimissaan neljään eri ryhmään. Osa ryhmistä voi olla opiskelemissa muissa tiloissa esimerkiksi englantia. Toisen opettajan mielestä oppilaiden ollessa hajallaan ryhmittäin tila toimii hyvin. Myöskään kovaäänisten aktiviteettien suorittaminen ei vaikuta häiritsevän hiljaisempien aktiviteettien suorittajia. [49]

Tilassa oli kaksi selkeästi huonekaluilla rajattua pesää sekä alue, johon oli sijoitettu pöytäryhmät työskentelyä varten. Käytävän alueella oli alaslaskettu akustiikkalevytetty alakatto. Alaslasketun osuuden huonekorkeus oli 2,4 m. Käytäväalueen molemmin puolin

huonekorkeus oli 3,1 m. Näille alueille oli jätetty näkyviin välipohjapalkisto, joiden väleihin oli sijoitettu akustiikkalevytys. Levyt olivat joko alaslaskettuja tai asennettu suoraan välipohjaan. Kantavat rakenteet olivat teräsbetonia ja kevyet väliseinät kipsilevypintaisia. Pesissä sekä sohvaturkkauksessa oli ohut tekstiilimatto ja muuten tilassa oli lattia- materiaalina muovimatto. Tilassa ei käytetä ulkokenkiä [49]. Tilassa ei ollut ikkunaverhoja. Mittauspäivään mennessä tiloissa oli ollut opetusta noin kaksi viikkoa. Kuvassa 4.7 on esitettyä tilan suurempi opetuspesä, kuvassa 4.8 pienempi ja suurempi opetuspesä naulakoilta päin katsottuna sekä kuvassa 4.9 sohvaturkkaus ja pöytäryhmät.



***Kuva 4.7.** Kolmannen mitatun koulun kolmannen luokan avoimen oppimisympäristön suurempi opetuspesä.*

Kuvasta 4.7 näkyy suuremman opetuspesän istuinten asettelu; tässä pesässä aloittaa aamunsa yhtä aikaa kaikki 52 oppilasta. Alueen etuosaa rajaa tekstiilimatto. Etuosan suuressa ruudussa on kosketusnäyttöominaisuudet. Pesää jakava istuinrivistö on sisäpuolelta kauttaaltaan verhoiltu.

Kuvassa 4.8 näkyy sekä pienempi että suurempi opetuspesä. Kuva on otettu naulakoilta päin. Kuvan etuosassa näkyvillä pöydillä on selkeästi opettajien opetusvälineitä. Kuvassa näkyy myös pienemmän opetuspesän aukossa oleva istuin, jossa opettaja istuu vaihtoehtoisesti pitäessään opetustilaisuutta oppilailleen pienemmässä pesässä. Pesien välissä ja tolpan taakse jäävä pöytäryhmä kannettiin mittausten ajaksi naulakkoalueelle, sillä opettajat kertoivat sen muutenkin olevan tiellä ja he olivat aikeissa siirtää sen muutenkin pois tilasta. Katossa on nähtävissä ilmastoinnin tulopäiden sekä valaisimien olevan hieman akustiikkalevytyistä matalammalla. Katosta on myös nähtävissä opetusalueiden katon kattopalkit akustiikkalevytyksien välissä sekä kuvan oikeassa yläreunassa entisen käytäväalueen otsapinta.



***Kuva 4.8.** Kolmannen mitatun koulun kolmannen luokan avoimen oppimisympäristön pienemmän ja suuremman opetuspesän sijainnit naulakoilta päin katsottuna.*



***Kuva 4.9.** Kolmannen mitatun koulun kolmannen luokan avoimen oppimisympäristön sohvaturkkkaus ja pöytäryhmät.*

Kuva 4.9 on otettu avoimen oppimisympäristön sohvaturkkkauksesta pöytäryhmille päin. Sohvaryhmän rajauksena toimi tekstiilimatto. Kuvasta näkyy myös selkeästi käytävälueen otsapinta. Kosketusnäytön takana näkyy myös virheitä kaapistoja, joissa oppilaat säilyttivät tavaroitaan. Kuvan pöytien ja tuolien alla oli rullat. Nämä pöydät ja tuolit olivat kalusteita, joista haastateltu opettaja kertoi muodostuvan häiritsevä määrä melua niiden kolistessa yhteen.

4.3 Mittaukset

4.3.1 Mittausmenetelmä

Mittauksilla haluttiin saada selville kirjallisuustutkimuksessa esiintyneitä asioita eli kuinka selvästi opetusryhmän sisällä puhe kuuluu, onko opetusryhmien välinen erottelu riittävä puheen selyyden vähentämiseksi, kuinka ääni leviää tilassa ja millainen on tilan taustäänitaso, kun tila on tyhjillään. Mittaukset tehtiin standardin ISO 3382-3 [83] mukaisesti, sillä standardissa on esitetty mittaluvut, joiden avulla voidaan arvioida äänen leviämistä tilassa sekä puheen erotettavuutta ja siihen perustuvia häiritsevyys- ja yksityisyyssäiteitä.

Mitattavista tiloista kirjattiin muistiin tilan dimensiot, huonekalujen sijainti, tyyppi ja koko, ilmastointilaitteisto sekä lattian ja katon pintamateriaalit. Tämän lisäksi kirjattiin myös äänilähteen tiedot ja suuntaavuus, käytettävät äänisignaalit, mittauslaitteisto ja mikrofonit sekä äänilähteen ja mikrofonien sijainnit. Lisäksi kirjattiin myös mahdollisten verhojen sijainti ja niiden aukinaisuus sekä absorptioalat sekä niiden sijainnit. Kalustuksen ja tilanjakajien sijainnit ja koot ovat esitettynä avointen oppimisympäristöjen pohjapiirustuksissa (kuvat 4.11–4.14). Jokaisen mitatun tilan alakatto oli akustiikkalevytettyä ja tilojen absorptio-ominaisuuksia on käsitelty niin tilojen esittelyssä kuin tulosten käsitteilyssä. Äänisignaaleina käytettiin yhteisesti sinipyyhkäisyä puheensiirtoindeksin laskennan osalta sekä vaaleanpunaista kohinaa leviämismuunnoksen osalta.

Käydään seuraavaksi läpi, kuinka avointen toimistojen akustiikan mittausohjetta ISO 3382-3 sovellettiin avointen oppimisympäristöjen mittauksissa. Norsonicin Nor280 -kohinageneraattorilla tuotettiin standardin mukaista vaaleanpunaista kohinaa. Standardin mukaisesta äänilähteen korkeudesta poikettiin, sillä toimistoakustisessa mittauksessa äänilähteen tulisi olla 1,2 m korkeudessa. Kuitenkin jos halutaan mitata opettajan puheen äänenleviämistä, tulee ottaa huomioon, että opettajat opettavat yleensä seisaallaan. Tämän vuoksi käytettiin tutkimuskirjallisuudessa esitettyä 1,6 m korkeutta [18]. Mikrofonin paikat eli mittauspisteet asetettiin 1,0 m korkeuteen mallintaen alakoululaisten istumakorkeutta, mikä on 0,2 m matalampi kuin toimistomittausohjeen suosittelema korkeus. Tämä 1,0 m korkeus oli esitetty myös tutkimuskirjallisuudessa sekä brittiläisessä avointen oppimisympäristöjen akustiikan suunnitteluohjeessa [14, 18]. Mittauksissa käytetyt 1,0 m ja 1,6 m korkeudet olivat samoja kuin mallinnuksessa käytetyt äänilähteiden ja vastaanottimien korkeudet.

Mittaukset suoritettiin avotoimistojen akustiikan mittausstandardia mukailien ilman tilan käyttäjiä eli oppilaita ja opettajia. Standardin mukaisesti määritettiin mittauslinjoja, jotka alkoivat jonkin opetusryhmän alueesta ja päättyivät toisen opetusryhmän alueelle. Näin haluttiin selvittää opetusryhmien välisen puheyksityisyys. Mittauspisteitä standardin mukaan tulee olla vähintään neljä mittauslinjaa kohti, mutta suosituksena on kuitenkin jär-

jestää kuudesta kymmeneen mittauspistettä. Standardi ohjeistaa myös äänen leviämismuunnoksen mittauksessa siten, että mittauslinjoilta käytetään vain niitä mittauspisteiden tuloksia, jotka ovat etäisyydeltään kahden ja kuudentoista metrin välillä äänilähteestä ja ovat vähintään 2,0 m etäisyydellä seinistä ja vähintään 0,5 m etäisyydellä tasopinnoista [83]. Samainen ohje esitti käytettävän vähintään kahta eri äänilähteen sijaintia, mikä mittauksissa toteutettiin.

Mittaustuloksista muodostettiin avotoimistojen mittausstandardin mukaisesti kuvaajat, joissa esitettiin mitatut puheensirtoindeksit, taustäänitasot sekä äänenpainetasot mittauspisteittäin mittauslinjakohtaisesti. Avotoimistoakustisen mittausohjeen mukaisesti mittauslinjojen tuloksista laskettiin lineaariset regressiot, joista määritettiin häiritsevyyssäteen ja yksityisyysäteen r_D ja r_p etäisyydet sekä äänen leviämismuunnoksen $D_{2,s}$ suuruus etäisyyden kaksinkertaistuessa.

4.3.2 Mittauskalusto

Mittauksissa käytettiin osittain samaa laitteistoa sinipyyhkäisyyn ja kohinageneroinnin suhteen. Sinipyyhkäisyllä tuotettiin puheensirtoindeksin tulokset ja kohinalla mittauspistekohtaiset äänenpainetasot. Kohinageneroinnissa äänentaltioinnissa käytettiin äänitasomittaria Norsonic Nor140 ja mikrofonia Norsonic 1225 sekä mikrofonin esivahvistimena Norsonic 1209, (virtalähteenä Norsonic Nor340). Mikrofonin kalibrointiin käytettiin Norsonic Nor1251 -kalibrointilaitetta ja mikrofonikaapelina käytettiin Norsonic Nor1408A/5. Äänilähteenä käytettiin pallokaiutinta Norsonic Nor276 ja sen esivahvistimena Nor280. Etäisyydet mitattiin laseretäisyysmittarilla Bosch GLM 80 Professional. Mitattaessa puheensirtoindeksiä sinipyyhkäisyllä äänitasomittari ja mikrofoni vaihdettiin Schoeps MK 3 -mikrofoniin ja Schoeps CMC-6U G -esivahvistimeen, mitkä liitettiin systeemiin RME:n Babyface Pron avulla. Tähän liitettiin käytettiin XLR-johtoja.

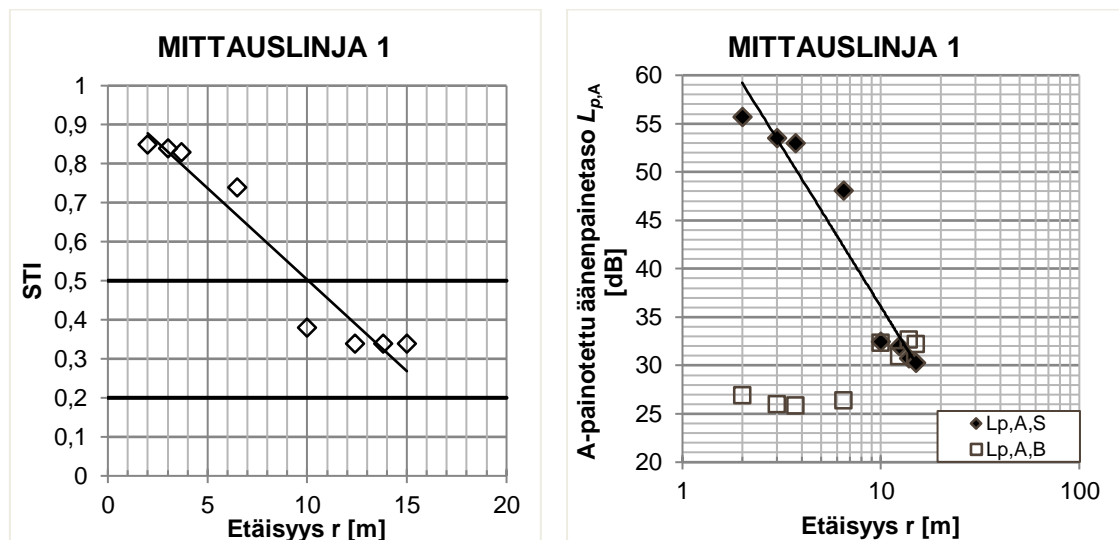
Kohinageneroinnissa esivahvistimesta valittiin signaalin vahvistusasetukseksi -10 dB ja signaaliksi vaaleanpunainen kohina. Sinipyyhkäisyssä esivahvistimen äänitasoksi valittiin -35 dB ja signaaliksi linjatulo, josta toistettiin Babyface Pron kautta kytketyn kannettavan tietokoneen huoneakustiikkaohjelman Odeon version 14.0 sinipyyhkäisyä.

Mittauksen alussa Norsonic 1225 mikrofoni kalibroitiin Nor1251 -kalibrointilaitteella. Kalibrointi toistettiin mitausten jälkeen. Puheensirtoindeksimittausta varten (sinipyyhkäisy) pallokaiutin Nor276 kalibroitiin Tampereen teknillisen yliopiston kaiuttomassa huoneessa standardin ISO 3382-1 ja Odeonin oman impulssivastekalibroinnin mukaisesti. Pallokaiuttimen keskipiste ja Schoeps MK3 mittari olivat 1,2 m korkeudella ja niiden välinen etäisyys oli 2,4 m. Pallokaiuttimen ympäri mitattiin tasaisella kulmalla viisi toista eri pistettä, joista saatujen äänitiedostojen perusteella Odeon loi oman kalibrointitiedostonsa. Pyyhkäisyjen pituuksiksi asetettiin 20 000 ms, impulssivasteiksi tilasta riippuen 300–01000 ms ja esiviiveiksi 200–500 ms. Mikäli 20 s sinipyyhkäisy oli liian lyhyt, käytettiin joko 30 s tai 50 s sinipyyhkäisyä.

4.3.3 Mitatut suureet

Mittauspisteistä mitattiin jo kirjallisuuskatsauksessa havaittuja akustisia suureita, joita olivat äänilähteen aiheuttama äänenpainetaso etäisyyden suhteen, puheenselvyys puheensiiroindeksinä STI etäisyyden suhteen ja taustäänitaso mittauspisteistä. Sinipyyhkäysmittauksella saatiin mittauspisteistä tulokseksi myös jälkikaiunta-ajat, joiden osalta eri valtioissa on jo vähimmäisvaatimuksia avointen oppimisympäristöjen suhteen. Näiden samojen suureiden osalta tuotettiin tuloksia myös huoneakustisen mallinnuksen osalta.

Äänilähteen tuottama äänenpainetaso mittauspisteittäin, puheensiiroindeksi mittauspisteittäin, jälkikaiunta-aika mittauspisteittäin sekä taustäänitaso mittauspisteittäin mitattiin oktaavikaistoittain standardin ISO 3382-3 [83] mukaisesti. Kuvassa 4.10 on esitetty esimerkki mittaus tuloksista koulusta 1. Puheensiiroindeksin STI arvot laskettiin sekä tiiloissa mitattujen taustäänitasojen $L_{A,eq,B}$ sekä kuvitteellisen peiteäänitason 40 dB perusteella.



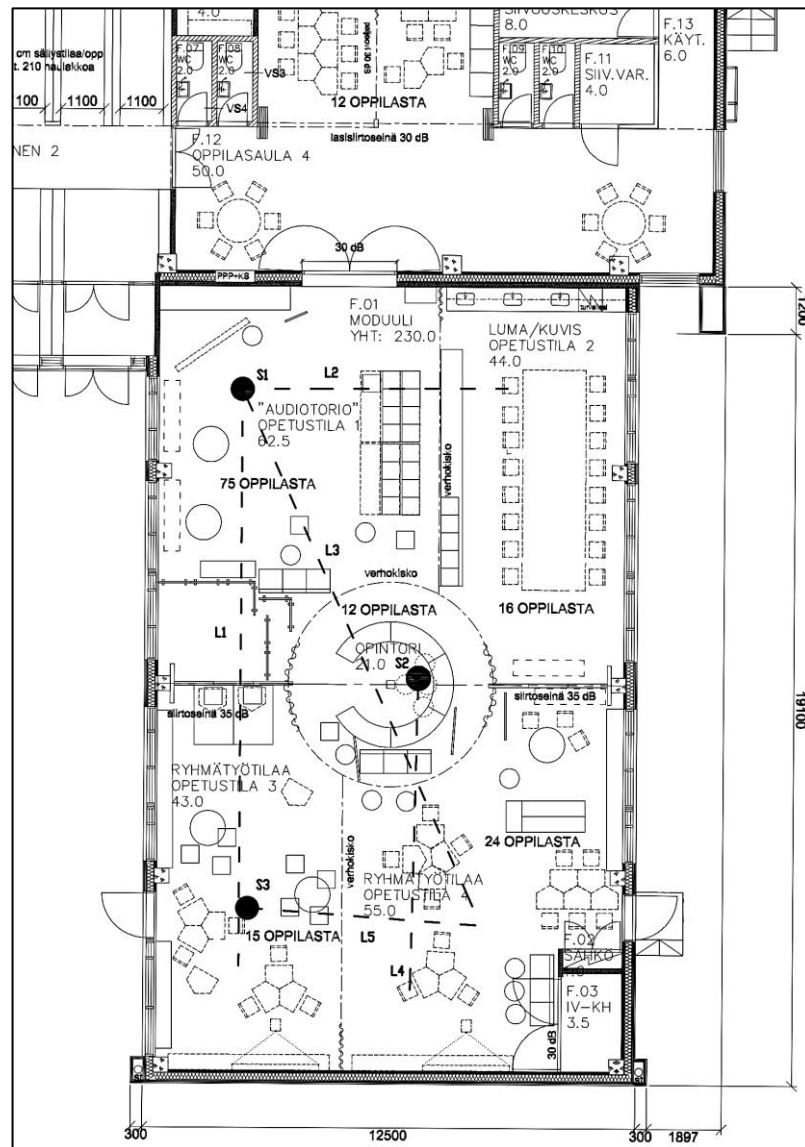
Kuva 4.10. Koulun yksi neljännen luokan avoin oppimisympäristö. Vasemmalla on esitetty puheensiiroindeksin arvo etäisyyden funktiona ja oikealla puheen äänitason muutos etäisyyden funktiona. Näistä mittaus tuloksista voidaan edelleen laskea häiritsevyys- ja yksityisyys säteen sekä leviämismuunnos.

4.3.4 Mittauslinjat

Koulusta 1 mitattiin viisi mittauslinjaa kolmella eri äänilähteen sijainnilla. Mittauslinjat yksi, kaksi ja kolme alkoivat samasta äänilähteen sijainnista yksi jokainen omaan suuntaansa kuvan 4.11 mukaisesti. Äänilähteen sijainnista kaksi alkoi mittauslinja neljä kohti ryhmätyötilaa neljä. Mittauslinja viisi alkoi puolestaan ryhmätyötilasta kolme ja päättyi ryhmätyötilaan neljä. Jokaiselta linjalta mitattiin kaksi tilannetta: ensimmäisessä verhot ovat auki ja toisessa kiinni. Mittauspisteiden etäisyydet äänilähteeseen linjoittain ovat esitettyinä kootusti taulukossa 4.1.

Taulukko 4.1. Koulun 1 neljännen luokan avoimen oppimisympäristön mittausrinjojen mittauspisteiden etäisyydet äänilähteisiin metreinä.

	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6	MP7	MP8
L1	2,0	3,0	3,7	6,5	10,0	12,4	13,8	15,0
L2	2,0	6,7	-	-	-	-	-	-
L3	2,0	4,0	6,5	8,0	9,0	12,0	14,4	-
L4	3,5	4,0	6,2	7,0	7,9	-	-	-
L5	2,0	3,3	4,0	5,8	-	-	-	-



Kuva 4.11. Koulun yksi moduulin F pohjapiirustus, kalustus, äänilähteiden sijainnit sekä mittausrinjat. Kuva löytyy mittakaavassa 1:100 liitteestä D.

Mittausrinjalla yksi neljä ensimmäistä mittauspistettä sijaitsivat ennen siirtoseinää ja loput neljä siirtoseinän takana. Mittausrinjalla kaksi ensimmäinen mittauspiste sijaitsi pääopetustilassa ennen katsomopenkkejä ja toinen kuvaamataitotilassa kaapistovälin ja pöy-

tärvin välissä. Mittauslinjalla 3 kolme ensimmäistä mittauspistettä sijaitsi ennen verhoilla ympäröityä pesää, kaksi pesässä ja kaksi pesän jälkeen. Mittauslinjalla neljä kaikki mittauspisteet sijaitsivat verhoilla ympäröidyn pesän jälkeen. Mittauslinjalla viisi ensimmäinen äänilähde sijaitsi ennen tilojen kolme ja neljä erottavaa verhoa ja loput kolme erottavan verhon jälkeen. Mittauslinja kaksi ei ole toimistomittausstandardin [83] mukaan tuloskelpoinen, mutta tältä linjalta saatiin mallinnuksen rinnalle ainoat vertailutulokset korkeiden kaappien tai muiden korkeiden tilanjakajien suhteen. Tämän lisäksi saatiin vertailutulos tilan verhojen ilmaääneneristävyyden osalta.

Koulun kaksi avoimessa oppimisympäristössä yksi mitattiin kolme mittauslinjaa kahdella äänilähteen sijainnilla (kuva 4.12). Äänilähteen sijainnista yksi alkoivat mittauslinjat yksi ja kaksi, joista mittauslinja yksi suunnattiin pitkien pöytäryhmien suuntaisesti ja mittauslinja kaksi kohti pyöreitä pöytäryhmiä. Mittauslinja kolme alkoi äänilähteen sijainnista kaksi ja jatkui keskeisen opetuspesän läpi aina pitkille pöytäryhmille saakka. Taulukossa 4.2 on esitettyä tämän tilan mittauslinjojen mittauspisteiden etäisyydet äänilähteisiin.

Taulukko 4.2. Koulun kaksi viidennen ja kuudennen luokan avoimen oppimisympäristön mittauslinjojen mittauspisteiden etäisyydet äänilähteisiin metreinä.

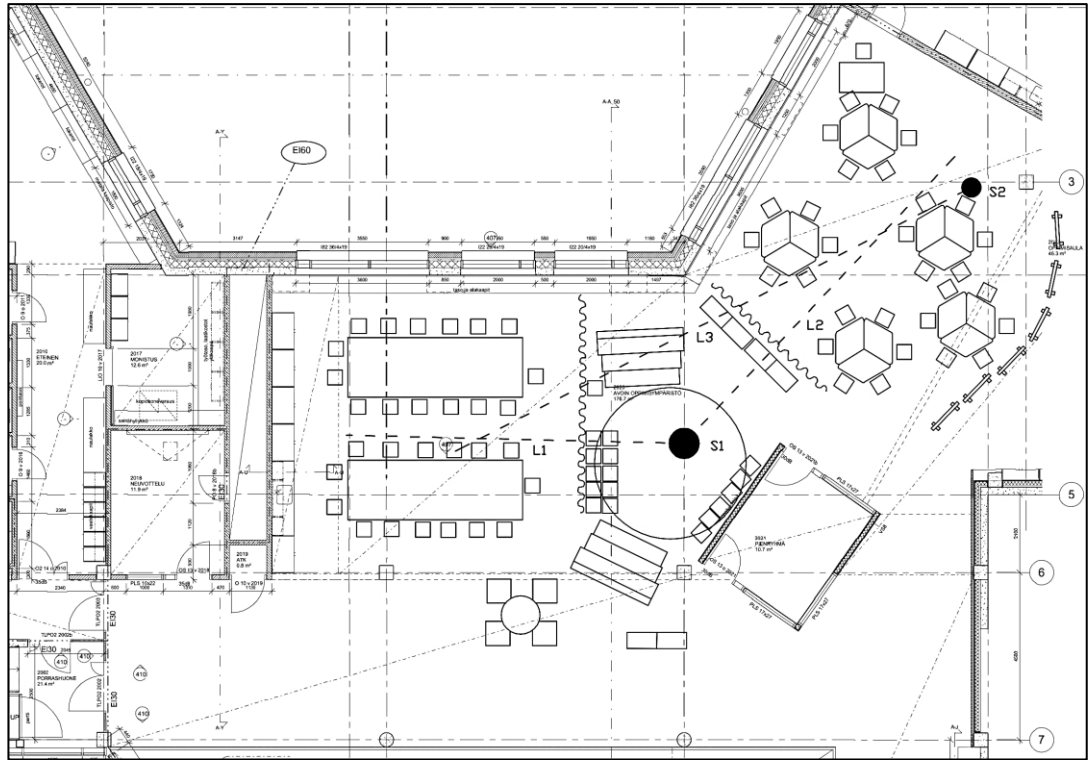
	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6	MP7	MP8
L1	2,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,3	-	-
L2	2,0	4,3	6,4	8,0	10,4	-	-	-
L3	2,0	3,7	5,9	8,4	11,4	13,0	14,0	15,1

Mittauslinjalla yksi ensimmäinen äänilähde on keskeisellä opetusalueella ja loput tilaa jakavan verhon toisella puolella. Näin myös mittauslinjalla kaksi. Mittauslinjalla 3 kolme ensimmäistä mittauspistettä sijaitsee ennen ensimmäistä verhoa, kaksi opetusalueella ja loput kolme toisen verhon takana. Verhot olivat kiinni mittauksen aikana.

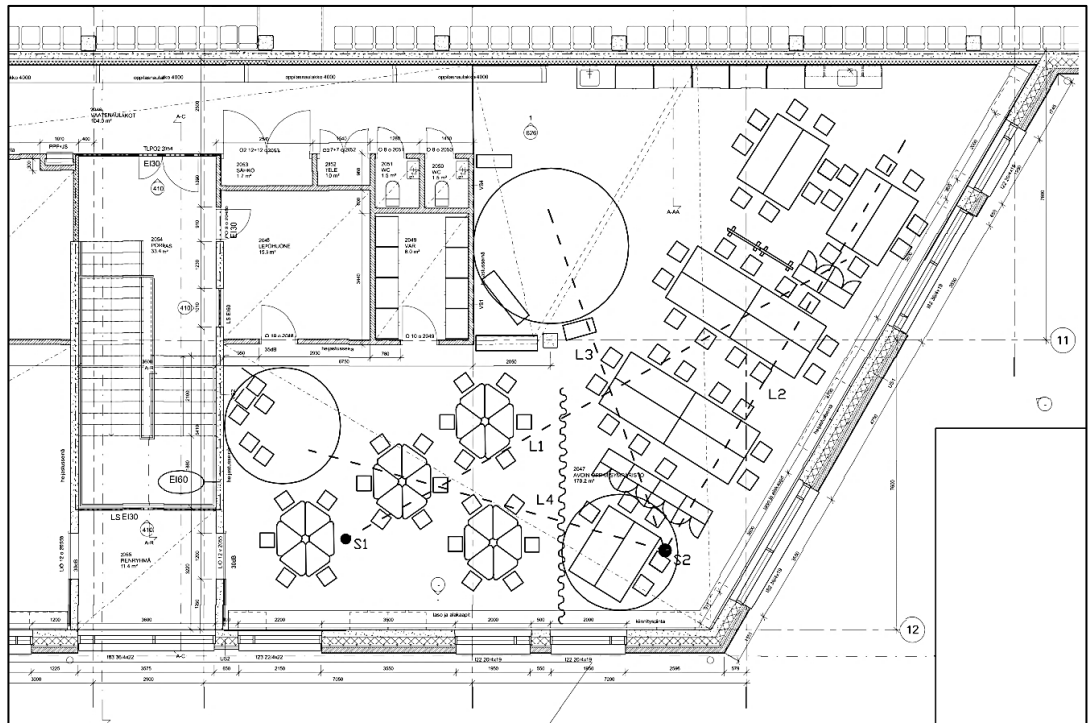
Koulun kaksi avoimessa oppimisympäristössä kaksi mitattiin neljä linjaa kahdella äänilähteen sijainnilla. Äänilähteen sijainnista yksi alkoi mittauslinja yksi, joka kulki tilaa jakavan verhon läpi. Äänilähteen sijainnista kaksi alkoivat mittauslinjat kaksi, kolme ja neljä, jotka suunnattiin kuvan 4.13 osoittamalla tavalla. Taulukossa 4.3 on esitettyä avoimen oppimisympäristön kaksi mittauspisteiden etäisyydet äänilähteisiin mittauslinjoittain.

Taulukko 4.3. Koulun kaksi ensimmäisen ja toisen luokan avoimen oppimisympäristön mittauslinjojen mittauspisteiden etäisyydet äänilähteisiin metreinä.

	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6	MP7	MP8
L1	2,0	3,2	5,5	8,0	9,6	10,9	13,7	15,6
L2	2,7	5,2	7,7	9,2	12,1	-	-	-
L3	2,0	4,0	6,8	8,0	9,4	-	-	-
L4	2,4	4,5	6,5	8,2	10,0	-	-	-



Kuva 4.12. Koulun kaksi avoimen oppimisympäristön yksi pohjapiirustus, kalustus, äänilähteiden sijainnit ja mittauslinjat. Mittakaavassa 1:100 oleva versio on esitettyä liitteessä E.



Kuva 4.13. Koulun kaksi avoimen oppimisympäristön kaksi pohjapiirustus, kalustus, äänilähteiden sijainnit ja mittauslinjat. Mittakaavassa 1:100 oleva versio on esitettyä liitteessä E.

Taulukko 4.5. Koulun kolme kolmannen luokan avoimen oppimisympäristön mittauslinjojen mittauspisteiden etäisyydet äänilähteisiin metreinä.

	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6	MP7	MP8
L1	2,6	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4	11,7	13
L2	2,6	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4	-
L3	2,0	3,5	7,5	9,5	13,5	15,5	-	-

4.4 Mittaustulokset

4.4.1 Koulu 1

Koulun 1 mittaustulokset kultakin mittauslinjalta on esitetty liitteessä D. Mittauslinjojen tuloksista saatiin lineaarisilla regressioilla puheensirtoindeksin osalta yksilukuarvotulokset häiritsevyyssäteelle r_D ja yksityisyysäteelle r_P . Vastaavanlaiset yksilukuarvotulokset saatiin myös äänenpainetasoista leviämismuunnokselle $D_{2,s}$. Nämä yksilukuarvotulokset ovat esitettynä taulukossa 4.6. Jokaiselta linjalta saatiin tulokset verhojen avonaisuuden sekä taustäänitason suhteen. Peiteäänitasolla 40 dB lasketut tulokset ovat myös esitettynä taulukossa 4.6 ja näiden tulosten linjamerkinnän yhteydessä on tähti (*).

Taulukko 4.6. Mittauslinjojen puheensirtoindeksi- ja leviämismuunnoskuvaajien lineaaristen regressioiden yksilukuarvotulokset, kun verhot ovat auki tai kiinni. Taustäänitasoina ylemmässä lohossa mitattujen taustäänitasojen (25–34 dB) ja alemmassa 40 dB peiteäänitason perusteella lasketut tulokset.

Mittaus- linja	Verhot auki			Verhot kiinni		
	r_D [m]	r_P [m]	$D_{2,s}$ [dBA]	r_D [m]	r_P [m]	$D_{2,s}$ [dBA]
L1	10,1	16,5	10,0	8,4	13,4	11,4
L2	10,8 ¹	19,6 ¹	7,5 ¹	9,2 ¹	16,6 ¹	9,1 ¹
L3	13,8	22,6	7,9	10,0	16,0	10,2
L4	37,9	100,6	2,2	10,8	32,0	2,6
L5	16,2	30,4	3,6	10,7	19,4	5,6
L1*	6,4	11,5	10,0	6,0	10,6	11,4
L2*	5,2*	9,3 ¹	7,6 ¹	4,5 ¹	7,6 ¹	9,1 ¹
L3*	7,9	14,2	7,9	6,2	10,8	10,2
L4*	4,2	31,9	2,2	-0,4	14,9	2,6
L5*	7,6	14,4	3,6	5,2	9,9	5,6

¹ Perustuu kahteen mittaustulokseen eikä siten ole luotettava tai standardin ISO 3382-3 mukainen tulos.

Mittauspisteistä sinipyyhkäisyllä saatujen jälkikäiunta-aikojen aritmeettiset keskiarvot ovat esitettynä taulukossa 4.7 oktaavikaistoittain. Ylemmällä rivillä on keskiarvostetut jälkikäiunta-ajat tilanteista, kun verhot olivat auki. Alemmalla rivillä vastaavasti keskiarvostetut jälkikäiunta-ajat tilanteista, kun verhot olivat kiinni.

Taulukko 4.7. Koulun yksi neljännen luokan avoimen oppimisympäristön jälkikaiunta-ajat oktaavikaistoittain, kun verhot olivat joko auki (ylempi rivi) tai kiinni (alempi rivi).

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T_{20} [s]	0,61	0,44	0,42	0,33	0,34	0,41	0,41	0,40
T_{20} [s]	0,68	0,44	0,41	0,32	0,31	0,37	0,35	0,34

4.4.2 Koulun kaksi avoin oppimisympäristö yksi

Koulun 2 oppimisympäristöstä 1 mittaustulokset kultakin mittauslinjalta on esitetty liitteessä E. Mittauslinjojen tuloksista saatiin lineaarisilla regressioilla puheensiirtoindeksin osalta yksilukuarvotulokset häiritsevyysasteelle r_D ja yksityisyysasteelle r_P . Vastaavanlaiset yksilukuarvotulokset saatiin myös äänenpainetasoista leviämismuunnokselle $D_{2,s}$. Nämä yksilukuarvotulokset ovat esitettynä taulukossa 4.8. Peiteäänitasolla 40 dB lasketut tulokset ovat myös esitettynä taulukossa 4.8.

Taulukko 4.8. Koulun kaksi mittauslinjojen puheensiirtoindeksi- ja leviämismuunnoskuvaajien lineaaristen regressioiden yksilukuarvotulokset. Taustäänitasoina vasemmalla lohkossa mitattujen taustäänitasojen (34–40 dB) ja oikeassa 40 dB peiteäänitason perusteella lasketut tulokset.

Mittauslinja	Mitatut taustäänitasot			Lasketut taustäänitasot		
	r_D [m]	r_P [m]	$D_{2,s}$ [dBA]	r_D [m]	r_P [m]	$D_{2,s}$ [dBA]
L1	11,5	20,8	4,1	10,8	20,2	4,1
L2	9,9	18,1	6,2	6,2	13,5	6,2
L3	8,4	15,6	6,6	7,7	14,9	6,6

Mittauspisteistä sinipyhkyksillä saatujen jälkikaiunta-aikojen aritmeettiset keskiarvot ovat esitettynä taulukossa 4.9 oktaavikaistoittain. Mittauspisteiden oktaavikaistaiset jälkikaiunta-ajat löytyvät liitteestä E.

Taulukko 4.9. Koulun kaksi viidennen ja kuudennen luokan avoimen oppimisympäristön jälkikaiunta-ajat oktaavikaistoittain.

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T_{20} [s]	0,77	0,45	0,45	0,43	0,47	0,61	0,65	0,59

4.4.3 Koulun kaksi avoin oppimisympäristö kaksi

Koulun 2 oppimisympäristöstä 2 mittaustulokset kultakin mittauslinjalta on esitetty liitteessä E. Mittauslinjojen tuloksista saatiin lineaarisilla regressioilla puheensiirtoindeksin osalta yksilukuarvotulokset häiritsevyysasteelle r_D ja yksityisyysasteelle r_P . Vastaavanlaiset yksilukuarvotulokset saatiin myös äänenpainetasoista leviämismuunnokselle $D_{2,s}$. Nämä yksilukuarvotulokset ovat esitettynä taulukossa 4.10. Peiteäänitasolla 40 dB lasketut tulokset ovat myös esitettynä taulukossa 4.11.

Taulukko 4.10. Koulun kaksi mittauslinjojen puheensiirtoindeksi- ja leviämismuunnoskuvaajien lineaaristen regressioiden yksilukuarvotulokset. Taustäänitasoina vasemmassa lohossa mitattujen taustäänitasojen (24–30 dB) ja oikeassa 40 dB peiteäänitason perusteella lasketut tulokset.

Mittauslinja	Mitatut taustäänitasot			Lasketut taustäänitasot		
	r_D [m]	r_P [m]	$D_{2,s}$ [dBA]	r_D [m]	r_P [m]	$D_{2,s}$ [dBA]
L1	15,5	27,0	4,9	8,8	16,2	4,9
L2	19,7	41,7	3,6	6,9	19,9	3,6
L3	14,8	26,8	4,9	7,9	15,6	4,9
L4	25,5	48,6	3,2	9,7	20,3	3,2

Mittauspisteistä sinipyyhkäisyllä saatujen jälkikaiunta-aikojen aritmeettiset keskiarvot ovat esitettynä taulukossa 4.11 oktaavikaistoittain. Mittauspisteiden oktaavikaistaiset jälkikaiunta-ajat löytyvät liitteestä E.

Taulukko 4.11. Koulun kaksi viidennen ja kuudennen luokan avoimen oppimisympäristön jälkikaiunta-ajat oktaavikaistoittain.

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T_{20} [s]	0,81	0,47	0,44	0,43	0,51	0,57	0,58	0,55

4.4.4 Koulu kolme

Koulun 3 oppimisympäristöstä mittaustulokset kultakin mittauslinjalta on esitetty liitteessä F. Mittauslinjojen tuloksista saatiin lineaarisilla regressioilla puheensiirtoindeksin osalta yksilukuarvotulokset häiritsevyyssäteelle r_D ja yksityisyssäteelle r_P . Vastaavanlaiset yksilukuarvotulokset saatiin myös äänenpainetasoista leviämismuunnokselle $D_{2,s}$. Nämä yksilukuarvotulokset ovat esitettynä taulukossa 4.12. Peiteäänitasolla 40 dB lasketut tulokset ovat myös esitettynä taulukossa 4.13.

Taulukko 4.12. Mittauslinjojen puheensiirtoindeksi- ja leviämismuunnoskuvaajien lineaaristen regressioiden yksilukuarvotulokset. Taustäänitasoina vasemman puoleisessa sarakkeessa ovat mitatut arvot (24–32 dB) ja oikeassa peiteäänitaso 40 dB.

Mittauslinja	Mitatut taustäänitasot			Lasketut taustäänitasot		
	r_D [m]	r_P [m]	$D_{2,s}$ [dBA]	r_D [m]	r_P [m]	$D_{2,s}$ [dBA]
L1	16,5	30,4	5,3	7,0	15,7	5,3
L2	8,9	16,5	7,0	4,4	10,1	7,0
L3	15,6	26,9	7,3	8,1	14,7	7,3

Mittauspisteistä sinipyyhkäisyllä saatujen jälkikaiunta-aikojen aritmeettiset keskiarvot ovat esitettynä taulukossa 4.13 oktaavikaistoittain. Mittauspisteiden oktaavikaistaiset jälkikaiunta-ajat löytyvät liitteestä F.

Taulukko 4.13. Koulun kolme kolmannen luokan avoimen oppimisympäristön jälkikaiunta-ajat oktaavikaistoittain.

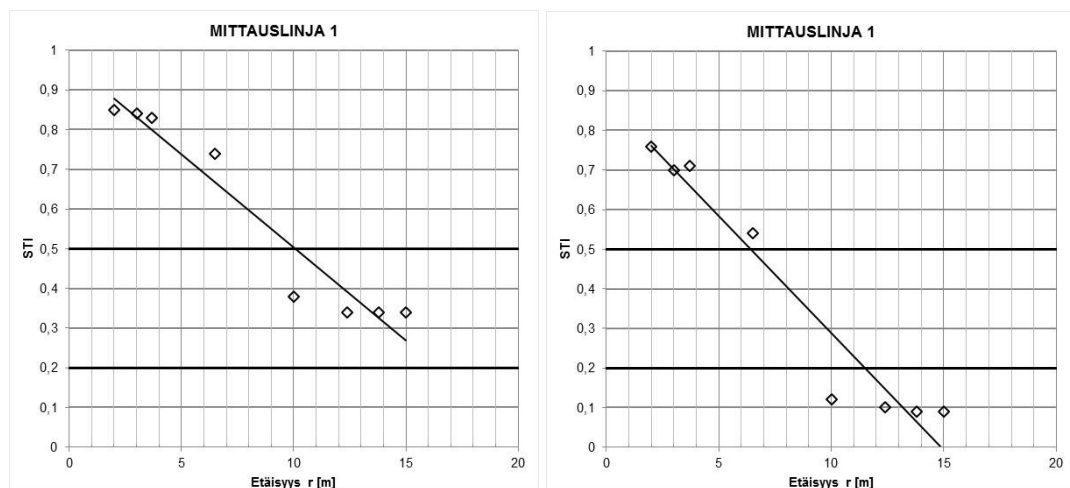
f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T_{20} [s]	0,73	0,45	0,49	0,41	0,38	0,45	0,48	0,46

4.5 Mittaustulosten tarkastelu

4.5.1 Puheensirtoindeksi lähietäisyyksillä

Pääosassa mitatuista oppimisympäristöistä rakennuksen teknisten järjestelmien tuottama taustäänitaso $L_{A,eq,B}$ oli alle 35 dB ja joissakin tapauksissa alle 25 dB (liitteet D–F). Näissä tiloissa puheensirtoindeksin STI arvo 0,7 saavutettiin tyypillisesti 5–10 m etäisyydellä puhujasta. Tämä tarkoittaa sitä, että ilman peiteäänijärjestelmällä tuotettua peiteääntä puhe on käytännössä selvästi kuultavissa koko tilassa tai lähes koko tilassa.

Pyrittäessä rajoittamaan äänen leviämistä tilassa rajoitetaan samalla puheen erotettavuutta. Riittävällä etäisyydellä puheenerotettavuuden on oltava tarpeeksi hyvä. Käytännössä puheenerotettavuuden rajoittaminen edellyttää peiteäänijärjestelmää. Peiteäänitason 40 dB järjestäminen tilaan johtaa siihen, että puheensirtoindeksin STI arvo 0,7 saavutetaan tyypillisesti 3–4 m etäisyydellä äänilähteestä (kuva 4.15). Tämä muutos vastaa mallinnuksen tuloksia ja tukee sitä, että peiteäänijärjestelmällä varustetussa avoimessa oppimisympäristössä opettajan tulee koota opetusryhmänsä lähelle silloin, kun hän puhuu koko ryhmälle yhtä aikaa.



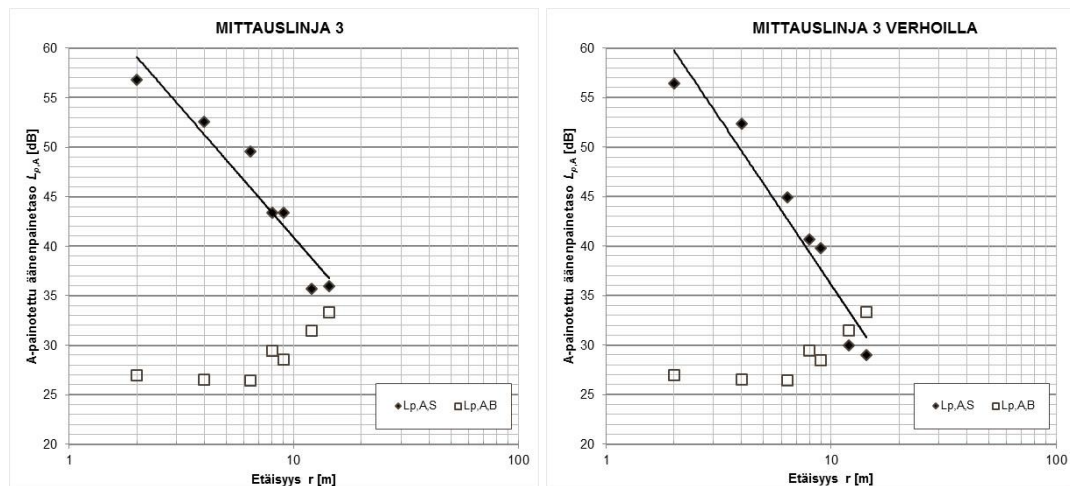
Kuva 4.15. Taustäänitason vaikutus puheensirtoindeksin STI arvoon koulun 1 mitauslinjalla 1. Vasemmalla on esitetty puheensirtoindeksin arvot avoimessa oppimisympäristössä mitattujen taustäänitasojen perusteella ja oikealla arvot on laskettu uudestaan siten, että peiteäänitaso on ollut 40 dB.

4.5.2 Leviämisvaimennus

Mitatut avoimet oppimisympäristöt olivat varsin avoimia ja niissä oli melko vähän korkeita tilanjakajia. Näin ollen äänen leviämismuunnoksen $D_{2,S}$ arvot olivat pääosin pieniä: kouluissa 2 ja 3 leviämismuunnos oli 3–7 dB. Jos taustäänitaso on 30 dB, leviämismuunnoksen arvo 7 dB tarkoittaa, että 17 m etäisyydellä puheen äänitaso on laskenut taustäänitason alle. Tämä edelleen tarkoittaa sitä, että ilman peiteääntä puheyksityisyyden tai hyvien olosuhteiden järjestäminen keskittymistä vaativille tehtäville edellyttäisi varsin suuria etäisyyksiä ja pinta-aloja.

Koulussa 1 tilaa jakavia elementtejä oli eniten, jolloin leviämismuunnoksen arvot olivat suurimmat. Pisimmillä mittauslinjoilla leviämismuunnos oli tässä koulussa 7–10 dB. Leviämismuunnoksen arvo 10 dB tarkoittaa sitä, että 8 m etäisyydellä puheen äänitaso laskee taustäänitason 30 dB alle.

Koulussa 1 voitiin tutkia myös verhojen vaikutusta leviämismuunnoksen arvoihin. Verhot kasvattivat leviämismuunnosta pisimmillä mittauslinjoilla 1,4–2,3 dB (kuva 4.16). Muutos on taustäänitasosta riippumaton. Kuvan 4.16 perusteella 2,3 dB kasvu leviämismuunnoksen arvossa alentaa 14,4 m etäisyydellä 7 dB. Melko pieni muutos leviämismuunnoksen arvossa tosin sanoen voi vaikuttaa suuremmilla etäisyyksillä äänen leviämiseen ja edelleen hälyisyyteen varsin paljonkin.



Kuva 4.16. Taustäänitason vaikutus leviämismuunnoksen arvoon koulun 1 mittauslinjalla 3. Vasemmalla on esitetty puheäänien vaimeneminen, kun mittauslinjan keskellä olevan verhojen rajatun ympyränmuotoisen pesän verhot ovat auki. Oikealla on mittaustulos leviämismuunnuksesta, kun verhot ovat kiinni.

4.5.3 Häiritsevyys- ja yksityisyssäteet

Suurimmassa osassa mitatuista avoimista oppimisympäristöistä rakennuksen teknisten järjestelmien tuottama taustäänitaso $L_{A,eq,B}$ oli erittäin vähäistä: äänitasot olivat useimmissa tiloissa alle 35 dB ja joissakin jopa alle 25 dB. Vain yhdessä oppimisympäristössä (koulu 2 avoin oppimisympäristö 1, taulukko 4.8) taustäänitaso oli osittain sellaisella tasolla, että peiteäänivaikutusta voitiin saavuttaa.

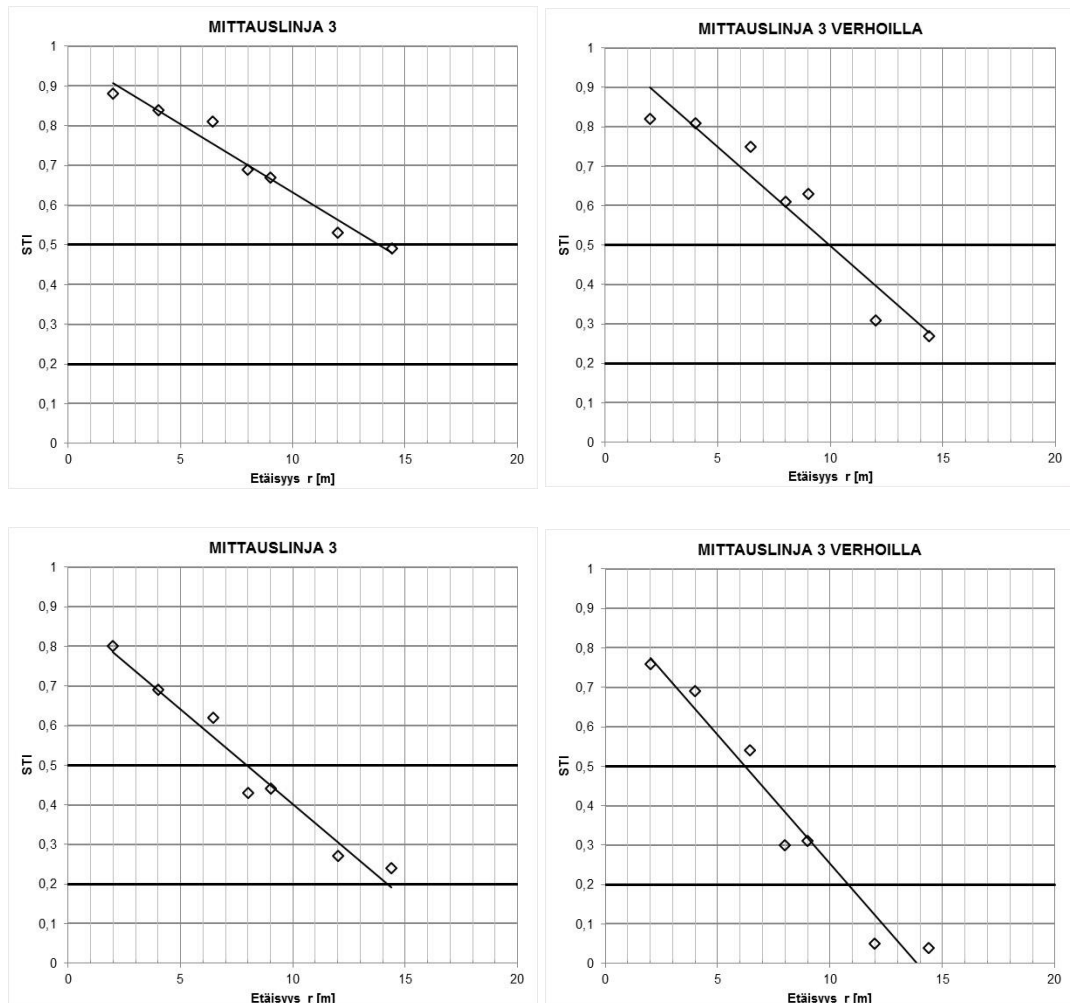
Alhaisesta taustäänitastasosta seurasi, että häiritsevyysäteiden r_D arvot olivat melko pitkiä, pääosin yli 10 m ja yli 20 m metrin arvojakin todettiin. Yksityisyssäteiden r_P arvot olivat yli 15 m. Poikkeuksena muista mittaustuloksista olivat koulun 2 avoimen oppimisympäristön 1 tulokset. Tässä tilassa mitattiin alle 10 m häiritsevyysäteitä, mikä johtui siitä, että tässä tilassa taustäänitaso oli selvästi suurempi kuin muissa tiloissa.

Taulukkojen 4.6, 4.8, 4.10 ja 4.12 perusteella voidaan todeta, että peiteäänien 40 dB lisääminen tilaan pienentää häiritsevyysätteen arvoa tyypillisesti 3–7 m ja yksityisyssäteiden arvoa 5–10 dB.

Koulun 1 avoimen oppimisympäristön tulosten perusteella voidaan yhdistää verhojen ja peiteäänijärjestelmän vaikutukset häiritsevyysäteeseen ja yksityisyssäteeseen. Eri tekijät vaikuttavat mittauslinjalla 3 niiden arvoon seuraavasti:

- kun verhot ovat auki ja peiteääntä ei ole, häiritsevyysäde r_D on 13,8 m
- kun verhot suljetaan, häiritsevyysäde r_D pienenee 3,8 m ja on 10,0 m
- kun tilaan lisätään 40 dB peiteääniä, mutta verhot ovat auki, häiritsevyysäde pienenee 5,9 m ja on 7,9 m
- kun tilaan lisätään sekä 40 dB peiteääniä, mutta verhot ovat kiinni, häiritsevyysäde r_D pienenee alkuperäiseen nähden 7,6 m ja on 6,2 m

Edellä luetellut tulokset on esitetty myös kuvassa 4.17. Tulokset osoittavat, että tilanjakaja ja peiteääntä yhdistämällä voidaan vaikuttaa huomattavasti äänen leviämiseen avoimessa oppimisympäristössä sekä häiritsevyysätteen arvoon. Yksityisyssäteiden arvoon näillä keinoilla on vielä jonkin verran suurempi vaikutus.



Kuva 4.17. Verhojen ja peiteäänän vaikutus puheensirtoindeksin arvoon koulun 1 mittauslinjalla 3. Mittauslinjan keskellä on verhoihin rajattu ympyränmuotoinen pesä. Ylhäällä vasemmalla: verhot auki, ei peiteäänä. Ylhäällä oikealla: verhot kiinni, ei peiteäänä. Alhaalla vasemmalla: verhot auki, peiteäänä 40 dB. Alhaalla oikealla: verhot kiinni, peiteäänä 40 dB.

4.5.4 Jälkikaiunta-ajat

Kaikkien mitattujen koulujen jälkikaiunta-ajat T_{20} ovat sillä tasolla, mille muissa maissa jälkikaiunta-aika opastetaan suunniteltavaksi [11, 41, 52]. Se, että puheenerotettavuutta ja kuvaavat mittaluvut ovat tästä huolimatta varsin korkeita, kun huomioon otetaan tiloissa vallitseva alhainen taustäänitaso, osoittaa, että jälkikaiunta-aika ei ole riittävä kriteeri avointen oppimisympäristöjen suunnittelemiseksi.

Jälkikaiunta-ajan perusteella voidaan ehkä määrittää tilassa joka tapauksessa tarvittava absorptioala riittävälle tasolle, mutta ääntä vaimentavien pintojen lisäksi tiloissa tarvitaan tilanjakajia ja peiteäänä, jotta häiritsevyysasteet saadaan riittävän alhaisiksi.

5. KYSELYTUTKIMUS

5.1 Kyselytutkimuksen tavoitteet

Kyselyn tavoitteena oli selvittää luvussa 4 esitettyjen koulujen opettajien kokemuksia ja havaintoja avoimista oppimisympäristöistä heidän itsensä ja oppilaiden kannalta. Ääniosuhteiden lisäksi kyselyllä selvitettiin opettajien äänenkäyttöä, tilan käyttöä, parannustoiveita sekä siirroksen sulavuutta nykyisiin tiloihin. Lisäksi tavoitteena oli saada mitaustuloksille subjektiivinen vertailukohta.

Kyselyn kysymykset ja vastaukset on esitetty liitteessä G. Kysely koostui viidestä osaluueesta, joissa selvitettiin seuraavia seikkoja ja ilmiöitä:

- ensimmäisessä osassa selvitettiin sitä, kuinka siirtyminen avoimeen oppimisympäristöön oli tapahtunut
- toisessa osassa selvitettiin sitä, millä tavoin avoimen oppimisympäristön koetaan tukevan opetustyötä
- kolmannessa osassa selvitettiin opettajien äänenkäyttöä edellisessä ja nykyisessä työympäristössä.
- neljännessä osassa kysyttiin opettajien näkemyksiä siitä, kuinka hyvin oppimisympäristö tuki oppilaiden oppimista.
- viidennessä osassa selvitettiin tilojen kehitystarpeita sekä ennakkoluulojen toteutumista avoimista oppimisympäristöistä. Viides osio päättyi avokysymykseen, johon pystyi vapaasti kertomaan kokemuksistaan ja havainnoistaan.

5.2 Kysymysten kuvaus ja perustelut

5.2.1 Ensimmäinen osio: siirtyminen avoimeen oppimisympäristöön

Ensimmäisessä osiossa esitettiin kysymys opettajien kokemuksista edellisistä opetustiloista, jolla haluttiin saada selville, ovatko opettajat opettaneet jo aiemmin avoimissa oppimisympäristöissä. Tämä johti seuraavaan kysymykseen, jossa kysyttiin mahdollisesta perehdyttämisestä uusiin opetustiloihin. Tämä kysymys nousi esille mitattujen avointen oppimisympäristöjen opettajien suullisessa haastattelussa ennen varsinaista mittausta. Samoin perehdyttämisen tärkeys on tunnustettu jo vuonna 1970, jolloin on todettu, että opettajien tulee ymmärtää tilassa olevan koko ajan ääntä ja että heidän tulee ymmärtää akustisten ongelmien johtuminen myös tilan käytöstä eikä vain akustiikasta [77].

Edellisiin asioihin liittyen seuraavassa kysymyksessä kysyttiin, osallistuivatko opettajat työympäristön suunnitteluun. Tämä aihe nousi myös esille opettajien suullisissa haastatteluissa, sillä yksi haastatelluista opettajista kertoi osallistuneensa avoimen oppimisympäristön suunnitteluun päivätyönsä ohessa [43].

Osion lopuksi kysyttiin vielä, onko avoimiin oppimisympäristöihin laadittu käyttäytymissääntöjä ja jos on, mitä ne sisältävät. Opetussuunnitelma 2014 antaa yleisohjeet opetuksen arvomaailmasta ja opetuksen tavoitteista [70]. Sittenmin vuoden 2016 syyslukukauden alkuun suunnattu opetussuunnitelma ohjaa koulut tekemään omat tarkemmat opetussuunnitelmat, mitkä mittauskoulujen osalta saatiin käyttöön [42, 44, 48, 68].

5.2.2 Toinen osio: avoin oppimisympäristö opetustyön kannalta

Toisessa osiossa kysymykset keskittyivät selvittämään avointen oppimisympäristöjen opetuksen tukemista. Ensimmäisessä kysymyksessä kysyttiin opetusta edistäviä seikkoja, toisessa vaikeuttavia seikkoja ja kolmannessa kysyttiin ääniolosuhde-eroja luokkahuoneisiin verrattuna. Edistävien ja vaikeuttavien seikkojen osalta esitettiin useita vastausvaihtoehtoja.

Mittaustulosten vahvistukseksi kysyttiin arviota siitä, kuinka kaukana toisen opettajan puhe kuuluu selvästi. Viimeisenä kysymyksenä selvitettiin opettajien tilankäyttöä kysymällä, kuinka he antavat ohjeistuksia koko ryhmälleen. Tämä kysymys liittyy tilankäyttöön, minkä tärkeys on tullut selkeästi esille kirjallisuustutkimuksessa.

5.2.3 Kolmas osio: äänenkäyttö avoimessa oppimisympäristössä

Kolmannella osiolla selvitettiin opettajien äänenkäyttöä nykyisessä ja edellisessä työympäristössä. Lisäksi kysyttiin myös hyvin yleisellä tasolla, onko heillä ollut edellisessä tai nykyisessä työympäristössään äänenkäytön ongelmia.

Kysymyksillä pyrittiin selvittämään hyvin yleisellä tasolla mahdollisia äänenkäytön ongelmia, joita luokkahuoneiden osalta tutkimuskirjallisuudessa todettu runsaasti.

5.2.4 Neljäs osio: avoin oppimisympäristö oppilaiden kannalta

Neljännessä osiossa selvitettiin opettajien näkemyksiä siitä, kuinka hyvin avoin oppimisympäristö tukee oppilaiden kehitystä. Osion ensimmäisessä kysymyksessä kysyttiin seikkoja, jotka opettajat uskovat edistävän oppilaidensa oppimista. Toisessa kysymyksessä kysyttiin puolestaan seikkoja, jotka mahdollisesti vaikeuttavat oppilaiden opiskelua. Vastausvaihtoehtoina näihin kysymyksiin annettiin useita akustisia tekijöitä kuten rauhalliset ääniolosuhteet, mutta myös muita oppimisympäristön ominaisuuksia kuten tilan käytön vapaus.

Vastausvaihtoehdot perustuvat opettajien suullisissa haastatteluissa ilmaantuneisiin seikkoihin sekä opetustilojen akustiikkaa ja ääniergonomiaa koskeviin tutkimuksiin [23, 43, 45, 46, 84]. Tämän lisäksi kysyttiin matka- ja älypuhelinhäiritsevyyttä koulupäivän aikana [32]. Ulkoa kuuluva melu jaoteltiin tutkimuskirjallisuudessa esitetyllä tavalla liikennemeluksi ja muuksi meluksi [32].

5.2.5 Viides osio: ääniympäristön kehittäminen

Viidennessä osiossa selvitettiin opettajien havainnoimia kehitystarpeita avoimissa oppimisympäristöissä sekä ennako-odotusten toteutumista avointen oppimisympäristöjen suhteen. Kehityskysymyksen vastausvaihtoehtoina oli edellisten osioiden opetusta tai oppimista vaikeuttavia asioita. Tämän lisäksi vastausvaihtoehtoina oli myös tilanjakajien korkeuden lisääminen ja vähentäminen, joilla pyrittiin tuomaan vertailukohtaa mallinnusosion tilanjakajien korkeuksiin. Osion lopussa oli avovastausosio, johon sai kirjoittaa kokemuksia, näkemyksiä ja kehitystarpeita, joita kyselyssä ei tullut esiin.

5.3 Kyselytutkimuksen toteutus

Kysely toteutettiin sähköisenä käyttäen verkkopohjaista SurveyPal-ohjelmaa. Kysely ohjattiin työssä mitattujen koulujen rehtoreille, jotka ohjasivat kyselyn eteenpäin koulujen avointen oppimisympäristöjen opettajille.

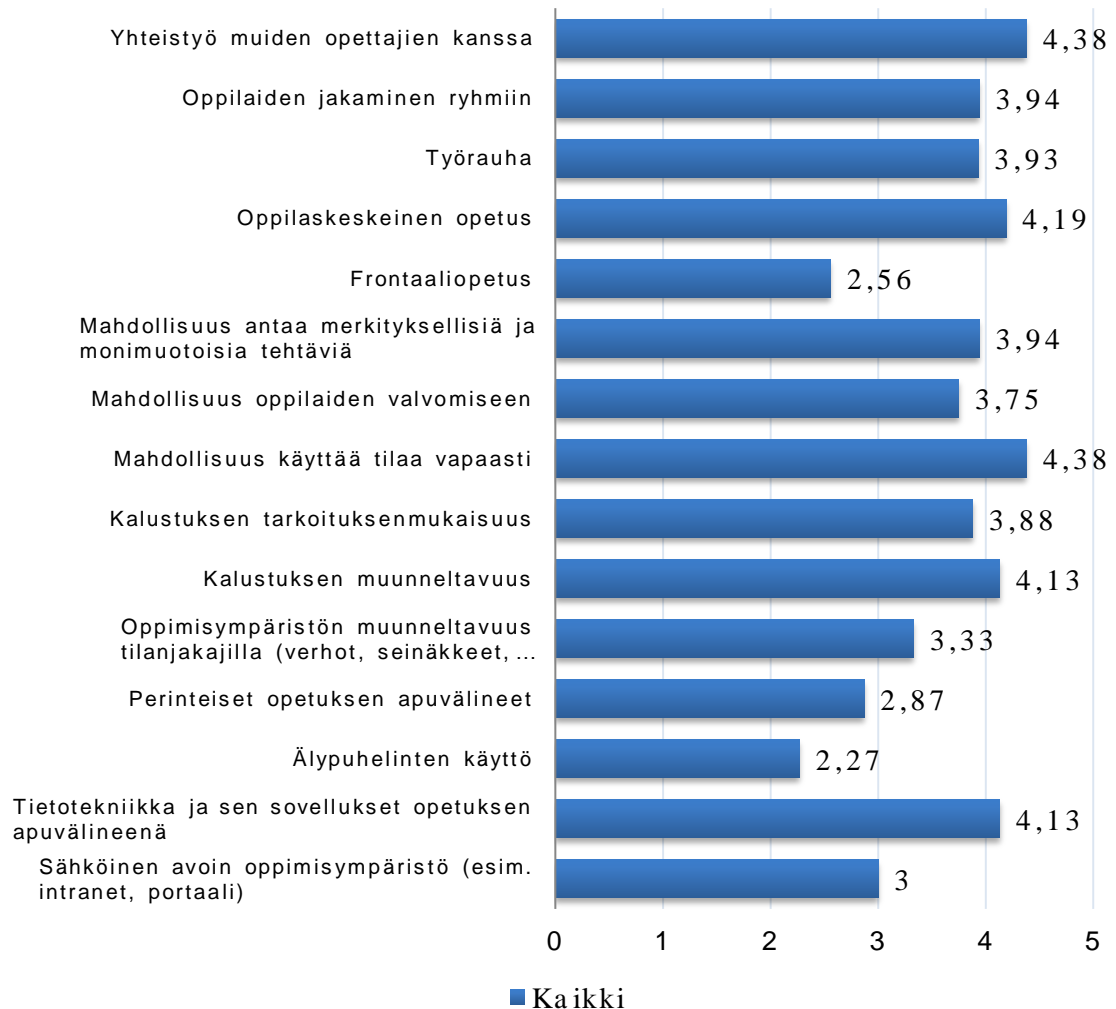
Kyselyn vastausaika oli 28.10 – 25.11, joka oli alkuperäisesti suunniteltua vastausaikaa kaksi viikkoa pidempi. Vastausajan pidentäminen johtui siitä, että opettajista lopulta melko pieni osa vastasi kyselyyn.

5.4 Kyselytutkimuksen tulokset

Kyselyyn vastanneet opettajat olivat 37–60-vuotiaita ja suurin osa kuului ikävälille 37–44 vuotta. Vastanneista 78,6 % naisia ja 21,4 % miehiä; kaikki kyselyyn vastanneet eivät vastanneet tähän kohtaan. Kyselyyn osallistui 16 opettajaa, josta kolmannes oli koulusta yksi, viidennes koulusta kaksi ja puolet koulusta kolme. 40 % vastanneista opetti ensimmäistä ja toista luokkaa, 20 % kolmasluokkalaisia, 27 % neljäs- ja viidesluokkalaisia ja 13 % kuudesluokkalaisia. Kaikki kyselyn tulokset on esitetty G.

Opettajista 31,1 % oli työskennellyt aiemmin avoimissa oppimisympäristöissä ja 81,3 % luokkahuoneissa; opettajilla oli mahdollisuus valita molemmat vaihtoehdot. 43,8 % opettajista ei saanut perehdytystä avoimissa oppimisympäristöissä työskentelyyn, 37,5 % perehtyi itse, 31,3 % sai koulultaan perehdytystä ja 6,3 % sai asiantuntijan pitämää koulutusta; opettajilla oli mahdollisuus valita useampi kuin yksi vaihtoehto. Vastanneista 81,3 % osallistui nykyisen työympäristön eli avoimen oppimisympäristön suunnitteluun. Käyttätymissäantöjä oli laadittu 86,7 %:in oppimisympäristöistä. Käyttätymissäännöt sisälsivät ohjeita tilojen käyttöön, etiikkaa sekä ohjeita äänen käyttöön.

Nykyisissä oppimisympäristöissä koulutyötä edistää opettajien kannalta kysymyksen 2.1 vastausvaihtoehtojen osalta (kuva 5.1) arvoasteikolla yhdestä viiteen, jossa yksi on ei lainkaan, kaksi on vähän, kolme jonkin verran, neljä melko paljon ja viisi erittäin paljon. Vastausvaihtoehtokohtaiset tulosten jakautumiset löytyvät liitteestä G.



Kuva 5.1. Kysymyksen 2.1 "Nykyisessä oppimisympäristössä koulutyötä edistää sinun kannaltasi" tuloksien keskiarvot asteikolla yhdestä viiteen.

Oppimisympäristössä koulutyötä vaikeuttaa opettajien kannalta kysymyksen 2.2 osalta esitetyt vastausvaihtoedot. Vastausvaihtoehtoihin oli mahdollista vastata vaikeuttamistas- teeksi ei lainkaan, vähän, jonkin verran, melko paljon ja erittäin paljon. Kuvassa 5.2 on esitetty tämän kysymyksen vastausvaihtoehtojen tulosten keskiarvot. Ei lainkaan vastaa vastauksissa numeroa yksi ja erittäin paljon numeroa viisi. Kuvan 5.2 vastausvaihto- ehtojen lisäksi vastausvaihtoehto "huono sisäilma" sai tuloksilleen keskiarvon 1,31, "liian korkea tai matala lämpötila" 2,19 ja "riittämätön valaistus" 1,25.



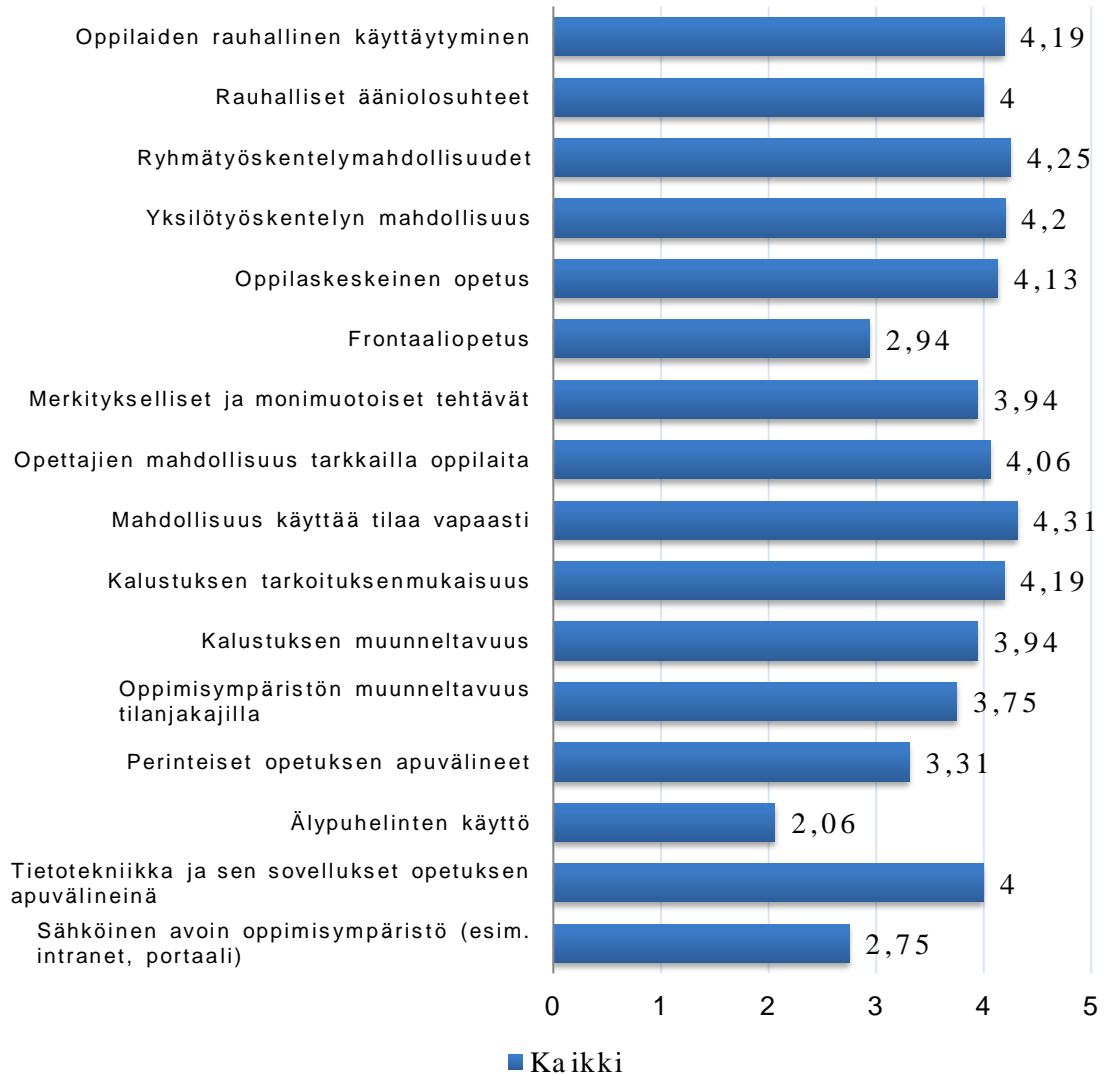
Kuva 5.2. Kysymyksen 2.2 "Oppimisympäristössä koulutyötä vaikeuttaa sinun kannaltasi:" vastausvaihtoehtojen tulosten keskiarvot.

Neljäkymmentä prosenttia opettajista kokee avoimen oppimisympäristön äänolosuhteet luokkahuoneeseen verrattuna, mikäli heillä on opetuskokemusta luokkahuoneista, paljon paremmaksi, 13,3 % jonkin verran paremmaksi, 40 % jonkin verran huonommaksi ja 6,7 % paljon huonommaksi. Opettajista 6,7 % kokee saavansa muiden opettajien puheesta selvää vain toisen opettajan vieressä ja noin kahden metrin etäisyydellä, 33,3 % noin viiden metrin etäisyydellä, 46,7 % noin kymmenen metrin etäisyydellä ja 6,7 % kokee saa-

vansa muiden opettajien puheesta selvää koko tilassa. Antaessaan ohjeita koko opetusryhmälleen, 12,5 % opettajista korottaa ääntänsä ja kertoo asiansa oppimisympäristöön hajaantuneille oppilaille yhteisesti, 81,3 % kertoo asiansa oppimisympäristöön hajautuneiden oppilaiden luona, 93,8 % kerää opetusryhmän lähellensä ja kertoi asiansa normaalilla puheäänellä, 6,3 % käyttää äänentoistolaitteita ja 56,3 % käyttää puheen sijasta muita keinoja huomion kiinnittämiseksi esimerkiksi äänimerkkiä. Opettajat saattoivat vastata yhden tai useamman vaihtoehdon, toisin sanoen käyttää yhtä tai useampaa menetelmää ohjeiden antoon koko opetusryhmillensä.

Opettajista 56,3 % puhuu nykyisessä työympäristössään hiljaisemmalla äänellä kuin aikaisemmassa työympäristössään. 26,7 prosentilla opettajista oli ongelmia äänenkäytössä edellisissä kouluissaan; yksi opettaja ei vastannut kysymykseen. 6,7 prosentilla opettajista äänenkäytön ongelmat ovat poistuneet uudessa työympäristössä, 20 prosentilla vähentyneet, 40 prosentilla pysyneet ennallaan ja 33,3 ei osannut sanoa, onko äänenkäytön ongelmat lisääntyneet vai vähentyneet; yksi opettaja ei vastannut kysymykseen.

Opettajat arvioivat oppilaiden koulutyötä edistäviä seikkoja kuvan 5.3 vastausvaihtoehtojen avulla. Vastausvaihtoehtojen arvioinnissa numero yksi tarkoittaa, että vastausvaihtoehto ei edistä oppilaiden koulutyötä lainkaan, kaksi vähän, kolme jonkin verran, neljä melko paljon ja viisi edistää erittäin paljon. Kuvan vastausvaihtoehtojen kohdilla tuloksista on esitetty keskiarvot. Vastausvaihtoehtokohtaiset tulosten jakautumiset löytyvät tarkemmin liitteestä G.



Kuva 2.3. Opettajien arviot oppilaiden koulutyötä edistävästä seikoista sekä näiden seikkojen edistämisen paljoudesta avoimissa oppimisympäristöissä.

Kuvassa 5.4 on esitetty tulokset, kun opettajat arvioivat kyselyssä vastausvaihtoehtoina annettuja seikkoja, joilla selvitettiin oppilaiden koulutyön vaikeutumista. Vastausvaihtoehtojen arvioinnissa numero yksi tarkoittaa, että vastausvaihtoehto ei vaikeuta oppilaiden koulutyötä lainkaan, kaksi vähän, kolme jonkin verran, neljä melko paljon ja viisi vaikeuttaa erittäin paljon. Kuvan vastausvaihtoehtojen kohdilla tuloksista on esitetty keskiarvot. Vastausvaihtoehtokohtaiset tulosten jakautumiset löytyvät tarkemmin liitteestä G. Kuvan vastausvaihtoehtojen lisäksi oli myös vastausvaihtoehto valaistuksen riittämättömyydestä, joka sai tuloksistaan keskiarvon 1,0.



Kuva 5.4. Opettajien arviot siitä, mitkä seikat vaikeuttavat oppilaiden koulutyötä ja miten paljon.

Opettajista 12,5 % arvioi kuulevansa selkeästi oppilaiden keskinäiset keskustelut vain oppilaiden vieressä ja 12,5 % noin kahden metrin etäisyydellä. 37,5 % arvioi kuulevansa keskustelun selkeästi noin viiden metrin etäisyydellä ja 37,5 % arvioi kuulevansa noin kymmenen metrin etäisyydellä.

Opettajat arvioivat muutostarpeita avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteiden osalta ennalta annettujen vaihtoehtojen osalta, jotka on esitetty tuloksineen kuvassa 5.5. Muutostarpeita oli mahdollista kuvailla myös sanallisesti. Sanallisissa vastauksissa toivottiin

joustavia tilanjakajia, absorptiomateriaaleja seinille, sekä vaihtoehtoja opetukseen käytettävien tilojen osalta.



Kuva 5.5. Opettajien arviot avointen oppimisympäristöjen muutostarpeista. Sanalliset vastaukset löytyvät liitteestä G.

Opettajista 31,3 prosenttia arvioi koulutyön olevan selvästi odotettua parempaa avoimissa oppimisympäristöissä kuin he ennakkoon ajattelivat. 25,0 % mielestä koulutyö avoimissa oppimisympäristöissä on jonkin verran ennakkoluuloja parempaa ja 43,8 % mielestä ennako-odotuksia vastaavaa.

5.5 Kyselytutkimuksen tulosten tarkastelu

Kyselytutkimukseen vastasi noin neljännes koulujen avoimissa oppimisympäristöissä työskentelevistä opettajista, joten kyselyn tulosten perusteella ei ole tilastollisesti mahdollista tehdä erityisen pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Lisäksi vastausaktiivisuudessa oli eroja koulujen välillä.

Vastanneista opettajista nuorin oli 37-vuotias, joten kaikilla opettajilla oli kokemusta koulutyöstä muistakin kouluista. Opettajista noin kolmannes ilmoitti opettaneensa jo aiemminkin avoimessa oppimisympäristössä. Tämä voi tarkoittaa koulun rakennusaikana käytössä olleita harjoittelutiloja, joissa opettajat olivat voineet työskennellä ennen uusiin tiloihin siirtymistä. Ainakin koulun 1 rakennusaikana tällaisia tiloja oli ollut käytössä. Avoimeen oppimisympäristöön siirryttäessä suuri osa opettajista ei ollut saanut perehdytystä työskentelystä avoimissa oppimisympäristöissä.

Sopeutumista työskentelyyn avoimissa oppimisympäristöissä oli luultavasti edistänyt se, että kouluissa oli käyttäytymissäännöt, jotka sisälsivät ohjeita tilan ja kalusteiden käytöstä, äänenkäytöstä sekä liikkumisesta. Käyttäytymissäännöt ohjasivat hyvin samanlaisia asioita kuin kirjallisuustutkimuksessa osoitettiin tarpeelliseksi kiinnittää huomiota.

Kysymyksen 2.1 ”nykyisessä oppimisympäristössä koulutyötä edistää sinun kannaltasi” vastausvaihtoehdoista keskimäärin eniten edisti yhteistyö muiden opettajien kanssa, mahdollisuus käyttää tilaa vapaasti, oppilaskeskeinen opetus, kalustuksen muunneltavuus ja tietotekniikka ja sen sovellukset, tässä järjestyksessä. Vähiten opetusta edistäviksi seikoiksi miellettiin älypuhelinien käyttö, frontaaliopetus ja perinteiset opetuksen apuvälineet, tässä järjestyksessä. Kalustuksen muunneltavuus nähtiin edistävämmäksi tekijäksi kuin kalustuksen tarkoituksenmukaisuus tai oppimisympäristön muunneltavuus tilanjakajilla. Oppilaskeskeisen opetuksen miellettiin edistävän koulutyötä enemmän kuin frontaaliopetus. Nämä tulokset osoittavat, että avoimen oppimisympäristön keskeisimmät ominaisuudet mielletään opetustyötä edistäviksi.

Oppimisympäristön muunneltavuutta tilanjakajilla ei vastauksissa koettu kovinkaan tärkeäksi, sillä jopa 40 % vastanneista mielsi tämän edistävän opetustyötä vain vähän. Toisaalta vain koulussa yksi oli järeitä tilanjakajia kuten siirtoseiniä, läpinäkymättömiä verhoja ja korkeita kaappeja.

Kysymyksen 2.2 ”oppimisympäristössä koulutyötä vaikeuttaa sinun kannaltasi” vastausvaihtoehdoista eniten häiritsi oppilaiden lukumäärä avoimessa oppimisympäristössä, muiden oppilaiden puhe, kun opettajan oma opetusryhmä tekee keskittymistä vaativia tehtäviä, toisten opettajien puhe, kun opettaja puhui itse sekä muiden opetusryhmien ja oppimisympäristöön hajautuneiden oppilaiden puhe, kun opettajat itse puhuivat, tässä järjestyksessä. Oppilaiden lukumäärän oleminen häiritsevin tekijä voi johtua oppilaiden lu-

kumäärästä johtuvista korkeista äänitasoista, yleisestä vilkkaudesta ja hälinästä, visuaalisista häiriöistä tai ihan vain lukumäärällisesti liian monesta oppilaasta opettajaa kohti, jolloin jokaisen opetusryhmän oppilaan luona kiertäminen oppilaiden hajauttamisen jälkeen olisi raskasta.

Vähiten häiritseviksi puolestaan koettiin ulkoa kuuluva melu, kopiokoneiden ja tulostinten äänet, matka- ja älypuhelinien käyttö ja äänet sekä ruokalasta kuuluvat äänet. Tämä tarkoittaa, että avointen oppimisympäristöjen ulkovaippon ääneneneristävyydet ovat riittävällä tasolla. Toisaalta oppimisympäristöissä tulostimet ja kopiokoneet sijaitsivat usein syrjässä. Toisaalta vain yhden mitatun avoimen oppimisympäristön yhteydessä oli samaan tilaan aukeava ruokala. Yleisesti ottaen kaikki muiden oppilaiden tai opettajien puheeseen liittyvät vastausvaihtoehdot koettiin keskimäärin vain vähän – jonkin verran häiritseviksi, vaikkakin osa vastanneista mielsi toisten puheen erittäin häiritseväksikin. Ilmastoinnin tuottamaa melua ei pidetty juurikaan häiritsevänä, mikä johtunee ilmastoinnin tuottamista pienistä äänitasoista, vaikka jokaisessa mitatussa avoimessa oppimisympäristössä ilmastointi oli päällä täydellä teholla.

Vastanneista opettajista 40 % koki avoimen oppimisympäristön ääniolosuhteet luokkahuoneeseen verrattuna paljon paremmaksi, mutta saman verran koki tämän vertauksen myös jonkin verran huonommaksi. Tämä voi johtua mittaustuloksista havaittavan äänen leviämismuutoksen vähyydellä, mikä osaltaan näkyi seuraavassa kysymyksessä 2.4, jossa lähes puolet opettajista ilmoitti kuulevansa muiden opettajien puheen tilassa vielä kymmenen metrin etäisyydelläkin. Mikäli opettajan oli tarvetta antaa koko ryhmälleen ohjeita, lähes kaikki keräsivät opetusryhmänsä lähelleen ja kertoi asian normaalilla puheäänellä. Yli 80 % saattoi vaihtoehtoisesti käydä kertomassa asiansa oppimisympäristöön hajautuneiden oppilaiden luona ja puolet käytti myös puheen sijasta jotain muuta keinoa huomion kiinnittämiseksi, joista esimerkkinä annettiin äänimerkki. Vain harva opettajista korottaisi ääntään ja kertoisi asiansa oppimisympäristöön hajautuneille oppilaille yhteisesti. Tämä kertoo siitä, että opettajat tiedostavat maltillisen äänenkäytön tärkeyden avoimissa oppimisympäristöissä.

Opettajista yli puolet arvioi puhuvansa avoimessa oppimisympäristössä hiljaisemmalla äänellä kuin aikaisemmissa työpaikoissaan. Loput arvioivat käyttävänsä ääntään samalla tavalla kuin ennenkin. Tämä viestii siitä, että äänenkäytön suhteen on menty oikeaan suuntaan, sillä hiljaisempi äänenkäyttö lyhentää häiritsevyyssädettä. Opettajilla on aiemmissa kouluissaan esiintynyt äänihäiriöitä, mutta uusissa tiloissa ongelmat ovat uusissa tiloissa lievittyneet.

Oppilaiden koulutyön kannalta opettajat arvioivat keskimäärin edistävimmiksi ennalta annetuista seikoista mahdollisuuden käyttää tilaa vapaasti, ryhmätyöskentelymahdollisuudet, yksilötyöskentelyn mahdollisuuden, oppilaiden rauhallisen käyttäytymisen sekä kalustuksen tarkoituksenmukaisuuden, tässä järjestyksessä. Suurin osa annetuista vaihto-

ehdoista kuitenkin miellettiin oppilaiden kannalta melko paljon edistäviksi, lukuun ottamatta frontaaliopetusta, perinteisiä opetuksen apuvälineitä, sähköistä avointa oppimisympäristöä ja älypuhelinien käyttöä. Tästä voidaan päätellä, että avointen oppimisympäristöjen pedagogiikka, oikea tilankäyttö sekä vapaa tilankäyttö ja avointen oppimisympäristöjen hyvin opetusta tukeva kalustus mielletään tärkeiksi. Tämä puolestaan heijastaa suoraan sitä tarvetta, minkä takia luokkahuoneista on lähdetty siirtymään avoimiin oppimisympäristöihin.

Frontaaliopetuksen osalta muutama opettaja mielsi frontaaliopetuksen koulutyötä edistämättömäksi. Toisaalta osa mielsi perinteisten opetuksen apuvälineiden edistävän oppilaiden koulutyötä erittäin paljon. Sähköinen avoin oppimisympäristö jakoi eniten mielipiteitä. Suurin osa arvioi sen edistävän oppilaiden koulutyötä jonkin verran, vähän tai ei lainkaan.

Opettajat arvioivat ennalta annetuista vaihtoehdoista oppilaiden koulutyötä vaikeuttavimmiksi oppilaiden lukumäärän avoimessa oppimisympäristössä, muiden oppilaiden puheen joko opettajan puhuessa tai ryhmän tehdessä keskittymistä vaativia tehtäviä, muiden opettajien puheen opettajan itsensä puhuessa tai ryhmän tehdessä keskittymistä vaativia tehtäviä sekä käytäviltä kuuluvat äänet ja oppilaiden ja muiden opettajien liikkumisen oppimisympäristössä, tässä järjestyksessä. Häiritsemättömmiksi seikoiksi miellettiin kopiokoneiden ja tulostinten äänet, ulkoa kuuluva melu, hajut, tuoksut, huono sisäilma, ruokalasta kuuluvat äänet, matka- ja älypuhelinien käyttö ja äänet sekä riittämätön valaistus, tässä järjestyksessä. Tulokset vastaavat tutkimuskirjallisuudessa esitettyjä tutkimustuloksia. Liian korkean tai matalan lämpötilan ei koettu häiritsevän oppilaiden koulutyötä niin paljoa kuin opettajien. Oppilaidenkaan osalta ulkoa kuuluvaa melua ei pidetty juurikaan koulutyötä vaikeuttavana, mikä johtuu todennäköisesti ulkoseinien hyvästä ääneristävyydestä. Toisaalta koulujen sijainti vilkkaiden teiden tms. suhteen vaikuttaa myös rakennuksen ulkopuolella olevaan äänitasoon, kuten kirjallisuustutkimuksessa kävi ilmi.

Opettajista suurin osa arvioi kuulevansa oppilaiden keskeisen keskustelun selvästi noin viiden viiva kymmenen metrin etäisyydellä (75 %). Tämä puolestaan viittaa jälleen tilojen äänen leviämismuutoksen pienuuteen.

56 % vastanneista oli tyytyväinen nykyisiin ratkaisuihin, kun kysyttiin mahdollisia muutostarpeita. Keskeisimmiksi kehityskohteiksi opettajat mielsivät opetusryhmien koon pienentämisen, yhteisesti sovittujen toimintatapojen tarkentamisen, melun leviämisen rajoittamisen, sekä seinin rajattujen työskentelytilojen lisäyksen vaativille tehtäville. Lisäksi kehitystarpeiksi nostettiin sanallisissa vastauksissa tilanjakajat, vaihtoehtoiset käyttötilat sekä absorptiomateriaalien lisäys.

Kyselytutkimuksen perusteella äänen leviämismuutos on avoimen oppimisympäristön akustiikan kannalta. Tämä seikka tuli esille vastauksissa kysymyksiin, joissa annettiin

vastausvaihtoehtoja, mutta varsinkin avovastauksissa. Kysyttäessä tiloja koskevista muutostoiveista ehdotukset koskivat tilanjakajien järjestämistä avoimeen oppimisympäristöön. Lisäksi ehdotettiin mahdollisuutta siirtää opetusryhmä luokkahuoneeseen silloin, kun koululaiset ovat levottomia. Mittaus- ja mallinnustulosten perusteella tilanjakajat ja peittoäänijärjestelmä lyhentäisivät häiritsevyyssädettä merkittävästi, mikä voisi vaikuttaa myös opetusryhmien koon johdosta koettuun häiritsevyyteen: samalla oppilasmäärällä tilan ääniolosuhteet muodostuisivat rauhallisemmiksi. Kyselyn lopuksi oli mahdollisuus kommentoida vapaasti mitä tahansa seikkoja. Useat kommentit koskivat puuttuvia rauhallisia ja ääneneristettyjä tiloja tai alueita keskittymistä vaativiin tehtäviin tai oppilaille, joilla on keskittymisvaikeuksia.

6. YHTEENVETO

Avoimia oppimisympäristöjä alettiin rakentaa ulkomailla laajemmin 1960-luvulla, jolloin myös alkoi niiden akustiikan tutkimus. Kirjallisuustutkimuksen perusteella selvitettiin akustiikan kannalta oleellisia ilmiöitä avoimissa oppimisympäristöissä. Tutkijat ovat pitäneet akustiikan kannalta suurimpana ongelmana avoimissa oppimisympäristöissä opetusryhmien välisen yksityisyyden vähäisyyttä ja äänen leviämistä tilassa vapaasti eli vaatimatonta leviämismuunnusta.

Tutkimuskirjallisuuden perusteella tutkimuksen kokeellisessa osuudessa keskityttiin äänen leviämismuunnukseen ja puheäänen häiritsevyyteen liittyviin tekijöihin. Erityisesti nämä seikat liittyvät peiteäänen hyödyntämismahdollisuuksiin sekä erilaisiin äänen etenemistä vähentäviin tilanjakajiin, kuten kalusteisiin ja seinäkkeisiin. Näitä seikkoja tutkittiin huoneakustisen mallinnuksen avulla. Puheäänen leviämiseen vaikuttaessa on kuitenkin samalla varmistettava se, että puheen erotettavuus on riittävän hyvä lähietäisyyksillä. Siten mallinnuksella tutkittiin myös puheenerotettavuutta lähietäisyyksillä.

Suomessa avoimia oppimisympäristöjä on otettu laajemmassa määrin käyttöön syysluku-kauden 2016 alussa. Siten tutkimuksessa oli myös mahdollista selvittää näiden valmistuneiden avointen oppimisympäristöjen huoneakustisia olosuhteita. Mittauksia tehtiin kolmen syksyllä 2016 käyttöön otetun koulun neljässä avoimessa oppimisympäristössä. Koska tutkimuskirjallisuudessa esitetyt ilmiöt vastaavat varsin paljon avotoimistoissa esiintyviä akustisia ilmiöitä ja koska avotoimistojen akustiikan mittaamiseen on kehitetty mittaluvut, samoja mittalukuja käytettiin myös avointen oppimisympäristöjen akustiikan arvioimiseen. Nämä mittaluvut olivat puheäänen leviämismuunnus $D_{2,S}$, häiritsevyyssäde r_D ja yksityisyyssäde r_P . Näitä mittalukuja ei toistaiseksi ole juuri käytetty avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteiden määrittelyssä tai mittauksissa. Lisäksi mitattiin tilojen jälkikaiunta-ajat.

Mittaustulosten vertailukohdaksi haluttiin tietoa myös tutkittujen avointen oppimisympäristöjen käyttäjien arvioista. Tutkimuksessa toteutettiin opettajille kysely, joilla kartoitettiin heidän käsityksiään avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteista.

Monissa maissa on jo laadittu ohjeita ja standardeja avointen oppimisympäristöjen akustisesta suunnittelusta. Näiden ohjeiden mukaan jälkikaiunta-ajan tulee olla avoimissa oppimisympäristöissä erittäin lyhyt, luokkaa 0,3–0,5 s. Tämä tarkoittaa sitä, että tilassa pitää olla suuri määrä ääntä vaimentavia eli absorboivia pintoja. Näin ollen huoneakustisen mallinnuksen lähtökohtana oli se, että tilan pinnat, kuten katto ja lattia, ovat erittäin hyvin vaimennettuja. Lattian tekstiilimatto vaikuttaa erityisesti kävelyn ja liikkumisen aiheuttamaan ääneen. Absorboivien pintojen määrän tai tyyppin vaikutusta ei siten erikseen tutkittu. Sitä vastoin mallinnuksella tutkittiin erilaisten muiden tekijöiden

vaikutusta äänen leviämismuunnokseen ja häiritsevyys- ja yksityisyssäteeseen. Näitä tekijöitä olivat huonekorkeus, tilanjakajien eli seinäkkeiden korkeus ja leveys, verhojen käyttö tilanjakajina sekä peiteäänien vaikutus.

Mallinnuksen perusteella kaikki tutkitut tekijät vaikuttavat äänen leviämismuunnokseen ja häiritsevyssäteeseen. Jonkin verran äänen leviämismuunnokseen voidaan vaikuttaa kasvattamalla huonekorkeutta, mutta tällöin kaiun lisääntyminen on estettävä kasvattamalla absorptioalaa. Suurin vaikutus leviämismuunnokseen on kuitenkin tilanjakajilla. Pyrittäessä vähentämään äänen leviämistä niiden tulee olla niin korkeita, että ne estävät suoran näköyhteyden äänilähteestä vastaanottopisteeseen. Mallinnuksen perusteella todettiin, myös, että merkittäviä vaikutuksia äänen leviämiseen voidaan saavuttaa myös seinäkkeitä kevyemmällä ratkaisulla, kuten verhoilla. Häiritsevyssäteiden kannalta merkittävä tekijä on peiteäänijärjestelmä. Mallinnuksessa peiteäänien keskiäänitasona oli 40 dB. Lisäksi tutkittiin rakennuksen teknisten järjestelmien tuottamaa tyypillistä 30 dB taustäänitasoa. Mallinnuksen perusteella 30 dB taustäänitaso ei riitä peittämään puheen äänitasoa suurillakaan etäisyyksillä.

Mallintamalla tutkittiin puheenerotettavuutta lähietäisyyksillä eli tilanteessa, jossa opettaja puhuu yhtä aikaa koko opetusryhmälleen. Jos tilassa ei ole peiteäänä, opettajan puhe on kuultavissa käytännössä koko tilassa. Käytettäessä 40 dB peiteäänitasoa hyvä puheenerotettavuus rajautuu noin 3 m etäisyydelle opettajasta. Tämä tarkoittaa sitä, että avoimessa oppimisympäristössä opettajan tulee koota opetusryhmänsä lähelle itseään silloin, kun hän puhuu koko ryhmälle.

Syksyllä 2016 käyttöön otetuissa avoimissa oppimisympäristöissä tehdyt mittaukset osoittavat, että rakennuksen teknisten järjestelmien tuottama taustäänitaso on tavallisesti erittäin hiljainen. Suurimmassa osassa tiloja taustäänitaso oli alle 35 dB ja joissakin tiloissa jopa alle 25 dB. Suurimmat leviämismuunnoksen arvot mitattiin tilassa, jossa oli eniten tilanjakajia. Muissa tiloissa leviämismuunnoksen arvot olivat selvästi pienempiä. Häiritsevyssäteiden arvot olivat peiteäänien ja tilanjakajien puuttuessa varsin suuria. Tilanjakajien tarve tarkoittaa myös sitä, että niiden tuotekehitykseen tulisi kiinnittää huomiota sekä käytettävyyden, absorption että ääneneristävyyden kannalta.

Opettajien käsityksiä selvittäneeseen kyselyyn vastasi noin neljännes tutkittujen koulujen avoimissa oppimisympäristöissä työskentelevistä opettajista, 16 henkeä. Siten kyselyn tulosten perusteella ei ole tilastollisesti mahdollista tehdä erityisen pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Erityisesti opettajien antamista avovastauksista kävi kuitenkin ilmi, että opettajat odottavat avoimiin oppimisympäristöihin tilanjakajia ja alueita, joissa ääniympäristö on rauhallinen keskittymistä vaativia tehtäviä ajatellen. Kyselyyn vastanneet opettajat siten olivat tunnistaneeet tutkimuskirjallisuudessa selostetut avoimelle oppimisympäristölle tyypilliset ilmiöt ja osin ratkaisumallitkin. Yleisesti ottaen opettajat olivat kuitenkin uusiin tiloihin tyytyväisiä. Kyselyn ja tutkimuskirjallisuuden perusteella on viitteitä

siitä, että siirryttäessä avoimiin oppimisympäristöihin käyttäjiä tulisi perehdyttää tilojen käyttöön hyvissä ajoin ennen koulutyön alkamista uusissa tiloissa.

Kaikkien tutkittujen koulujen jälkikaiunta-ajat ovat sillä tasolla, mille avointen oppimisympäristöjen jälkikaiunta-aika muissa maissa opastetaan suunniteltavaksi. Sekä mallinnettujen että mitattujen puheenerotettavuutta ja leviämismuunnosta kuvaavien mittalukujen arvot osoittavat, että jälkikaiunta-aika ei ole riittävä kriteeri tai raja-arvo avointen oppimisympäristöjen akustiikan suunnittelemiseksi. Tämä on otettava huomioon ohjeistettaessa tulevaisuudessa avointen oppimisympäristöjen suunnittelua Suomessa. Ohjeistuksen tulisi pohjautua äänen leviämismuunnukseen ja puheensirtoindeksiin perustuviin mittalukuihin. Nämä mittaluvut toisaalta tarkoittavat sitä, että avointen oppimisympäristöjen suunnittelutyökaluna tulee käyttää huoneakustista tietokonemallinnusta.

Tässä tutkimuksessa on selvitetty peiteäänän vaikutusta puheenerotettavuuteen avoimissa oppimisympäristöissä. Peiteäänän äänitasoja tutkittiin kaksi. Jatkotutkimusten aihe on selvittää, mikä peiteäänitaso olisi avoimiin oppimisympäristöihin parhaiten sopiva opetuksen ja oppimisen kannalta. Joka tapauksessa on selvää, että peiteäänestä on avoimissa oppimisympäristöissä hyötyä, ja todennäköisesti sopiva peiteäänitaso on lähempänä 40 dB kuin 30 dB.

LÄHTEET

- [1] A. M. Teplitzky, Effects of Background Noise, Distance, and Speech Directivity in the Open Plan, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 49(1), 1970, s. 88.
- [2] A. Nakajima, K. Ueno, T. Yokota, S. Sakamoto, H. Tachibana, Study on sound transmission between open-type classrooms by numerical analysis, *Acoustical Science and Technology*, Vol. 26(6), 2005, s. 537–539.
- [3] ANSI S3.5-1997 (R2012), American National Standard, Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index, 1997 (R2012).
- [4] B. Schellenberg, *Noise and Sound Control in Open Plan Schools*, U. S. Department of Health, 1975.
- [5] B. Shield, E. Greenland, J. Dockrell, Noise in open plan classrooms in primary schools: A review, *Noise & Health*, Vol. 12(49), s. 225–234.
- [6] B. Shield, Open plan schools: the acoustic challenges, 5th Symposium of the Finnish Society of Voice Ergonomics presentation, Helsinki, 9.9.2016.
- [7] B. Siekman, Guide for users and designers of open-plan classrooms, *The Journal of the acoustical Society of America*, Vol. 60(1), 1976, s. s58.
- [8] B. L. Kyzar, *Comparison of Instructional Practices in Classrooms of Different Design*. U.S. Department of Health, Education & Welfare, Office of Education, Natchitoches, 1971.
- [9] Building bulletin 93, *Acoustic design of schools: performance standards*, Department for Education, Education Funding Agency, London, 2015.
- [10] *Building Regulations*, The Danish Ministry of Economic and Business Affairs, Danish Enterprise and Construction Authority, Copenhagen, 2010.
- [11] C. M. Petersen, B. Rasmussen, Acoustic design of open plan schools and comparison of requirements, Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting, Odense, June 18–20, 2012.
- [12] C. Wang, J. S. Bradley, A Mathematical model for a single screen barrier in open-plan offices, *Applied Acoustics*, Vol. 63(8), 2002, s. 849–866.
- [13] *Danish Building Regulations 2015*, Danish Transport and Construction Agency, Copenhagen, 2015.

- [14] D. Canning, N. Cogger, E. Greenland, J. Harvie-Clark, A. James, D. Oeters, R. Orłowski, A. Parkin, R. Richardson, B. Shield, *Acoustics of Schools: a design guide*, Institute of Acoustics & Association of Noise Consultants, London, 2015.
- [15] D. P. Walsh, Another look at the acoustics of open plan schools, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 58(1), 1975, 1 p.
- [16] E. A. Wetherill, Practical Problems in building acoustics, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 58(1), 1975, s. s58.
- [17] Ecophon, *Screens in offices, Knowledge guide*, 31 p.
- [18] E. E. Greenland, B. M. Shield, A survey of acoustic conditions in semi-open plan classrooms in the United Kingdom, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 130(3), 2011, s. 1399–1410.
- [19] EN-ISO 10053:1991, *Acoustics – Measurement of office screen sound attenuation under specific laboratory conditions*.
- [20] EN-ISO 16283-1:2014, *Acoustics – Field measurement of Sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation*.
- [21] EN-ISO 354:2003, *Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room, second edition*.
- [22] EN-ISO 717-1:2013, *Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation*.
- [23] E. Sala, L. Rantala, *Opetustilojen akustiikka ja ääniergonomia, tutkimuksesta toteutukseen: loppuraportti*, Varsinais-Suomen sairaanhoitopiiri, Turku, 2012.
- [24] E. Sala, M. Sihvo, A. Laine, *Ääniergonomia, Toimiva ääni työvälteenä*, Työterveyslaitos, Työturvallisuuskeskus, Helsinki, 2003.
- [25] E. Sala, *suullinen keskustelu*, 5th Symposium of the Finnish Society of Voice Ergonomics, 9.9.2016.
- [26] Gerriets, *Technical Curtains 1, Collection 2,5*.
- [27] H. F. Kingsbury, *Acoustics in the Changing Classroom*, *Educational Technology*, Vol. 13(3), 1973, s. 62–64.
- [28] H. F. Kingsbury, D. W. Taylor, *Acoustical Conditions in Open-Plan Classrooms*, *The Journal of the acoustical Society of America*, Vol. 47, 1970, s. 79.

- [29] H. G. Mueller, M. C. Killion, An Easy Method for Calculating the Articulation Index, *The Hearing Journal*, Vol. 43(9), 1990, s. 14–17.
- [30] IEC 60268-16 3rd. edition, Sound system equipment – Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index, 2003, 33p
- [31] I. V. Jonsdottir, Benefits of using amplification in ordinary classroom – changes in male teachers' speech during a working day with and without amplification, *Euronoise 2009*, Edinburgh, October 26–28, 2009.
- [32] J. Dockrell, B. Shield, Children's perceptions of their acoustic environment at school and home, *The Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 115(6), 2004, s. 2964–2973.
- [33] J. E. Sulewsky, Acoustics in Office Landscape and Open-Plan Schools, *The Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 48, 1970, s. 99.
- [34] J. H. Rindel, Room Acoustic Prediction Modelling, *XXIII Econtro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Salvador, May 18–21, 2010.
- [35] J. King, Sound of Change in the American Schoolhouse, *SOUND*, Vol. 2(1), 1963, s. 12–15.
- [36] J. Rindel, ODEON and the scattering coefficient, *ODEON Workshop*, Mariehamn, 2004.
- [37] J. R. Hyde, Open Plan: Calculation versus Field Evaluation and Measurement, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 51(1), s. 144–145.
- [38] J. Yu, S. Wang, X. Qiu, A. Shaid, L. Wang, Contributions of various transmission paths to speechs privacy of open ceiling meeting rooms in open-plan offices, *Applied Acoustics*, Vol. 112, 2016, s. 59–69.
- [39] W. K. Connor & R. Benasutti, Design Practice Relating to Acoustics in Schools, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 53, 1973, s. 301.
- [40] K. D. Kryter, Methods for the Calculation and Use of the Articulation Index, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 34(11), 1962, s. 1689.
- [41] K. Eggenschwiler, M. Cslovejsek, Acoustical requirements of classrooms and new concepts of teaching, *Acoustics 08*, Paris, June 29 – July 4, 2008.
- [42] Koulun yksi opetussuunnitelma.
- [43] Koulun yksi opettajan suullinen haastattelu, 11.10.2016.

- [44] Koulun kaksi opetussuunnitelma.
- [45] Koulun kaksi avoimen oppimisympäristön yksi opettajan suullinen haastattelu, 08.08.2016.
- [46] Koulun kaksi avoimen oppimisympäristön kaksi opettajan suullinen haastattelu, 08.08.2016.
- [47] Koulun kolme historiatietoja.
- [48] Koulun kolme opetussuunnitelma.
- [49] Koulun kolme opettajan suullinen haastattelu, 18.08.2016.
- [50] K. Saloniemi, Aktiivinen kansalaisuus ja avoimet oppimisympäristöt tulevaisuudessa, Aktiivi-hankkeen ennakointiraportti, Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, 2011.
- [51] K. T. Mealings, H. Dillon, J. M. Buchholz, K. Demuth, An Assessment of Open Plan and Enclosed Classroom Listening Environments for Young Children: Part 1 – Children’s Questionnaires, 2015.
- [52] K. T. Mealings, H. Dillon, J. M. Buchholz, K. Demuth, An Assessment of Open Plan and Enclosed Classroom Listening Environments for Young Children: Part 2 – Teacher’s Questionnaires, 2015.
- [53] K. T. Mealings, K. Demuth, J. M. Buchholz, H. Dillon, The effect of different open plan and enclosed classroom acoustic conditions on speech perception in Kindergarten children, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 138(4), 2015, s. 2458–2469.
- [54] Laatus e-oppimateriaaleihin, E-oppimateriaalit opetuksessa ja oppimisessa, Opetushallitus, 2012.
- [55] L. Baker, A History of School Design and its Indoor Environmental Standards, 1900 to Today, National Institute of Building Sciences, National Clearinghouse for Educational Facilities, Berkeley, 2012.
- [56] L. Vainio, Avoimet oppimisympäristöt Hämeen ammattikorkeakoulussa, *SeOppi*, Nro 3, 2009, s. 26–28.
- [57] L. Vainio & J. Viteli, Matkalla kohti avointa oppimisympäristöä, Apuja aktiivisuuteen, välineitä verkostoihin, Hämeen ammattikorkeakoulu, Hämeenlinna, 2012.

- [58] M. Brogden, Open Plan Primary Schools: Rhetoric and Reality, *School Organization*, Vol. 3(1), 1983, s. 27–41.
- [59] M. Castberg Bråthen, K. Hagberg, REPORT 10179600, Measurements on office screens – Ecophon Akusto Screen A, WSP, 2013.
- [60] M. Jones, Small Learning Groups Revive the Open Classroom, *School Construction News*, 2005. Saatavilla: <http://www.schoolconstructionnews.com/articles/2005/12/9/small-learning-groups-revive-the-open-classroom>. Luettu 5.12.2016.
- [61] M. Karjalainen, *Kommunikaatioakustiikka, Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos*, Aalto-yliopisto, Espoo, 2009.
- [62] M. Kylliäinen, *Talonrakentamisen akustiikka*, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos, Tutkimusraportti 137, Tampere, 2006.
- [63] M. Peltonen, K. Harald, S. Männistö, L. Saarikoski, L. Lund, J. Sundvall, A. Juolevi, T. Laatikainen, H. Aldén-Nieminen, R. Luoto, P. Jousilahti, V. Salomaa, M. Taimi, E. Vartiainen, *Kansallinen FINRISKI 2007 -terveystutkimus, Tutkimuksen toteutus ja tulokset: Taulukkoliite*, Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B 35/2008, 2008, 750 p (T3_2 p. 659)
- [64] N. K. Choudhury, *Sound Diffraction Around Movable Partitions in Teaching Spaces*, Educational Building Report, Unesco Regional Office for Education, Bangkok, 1973.
- [65] Odeon Auditorium. Quick Start Guide.
- [66] Odeon Help, Global Estimated T20 and T30.
- [67] Odeon Manual.
- [68] Opetushallitus, OPS 2016 – Esi- ja perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden uudistaminen, saatavilla <http://www.oph.fi/ops2016>
- [69] Oulun normaalikoulun UBIKO-opetussolun arkkitehtuurinen pohjapiirustus kalustuksella, 2012, saatavissa: https://oppimaisema.fi/?290&project_id=131
- [70] Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014, Opetushallitus, 2014.
- [71] P. Larm, V. Hongisto, Experimental comparison between speech transmission index, rapid speech transmission index, and speech intelligibility index, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 119(2), 2006, s. 1106–1117.

- [72] P. S. Veneklasen, J. R. Hyde, Concepts and Acoustics of Open-Plan Offices and Schools, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 47(1), 1970, s. 78.
- [73] P. W. Hirtle, B. G. Watters, W. J. Cavanaugh, Acoustics of Open Plan Spaces – Some Case Histories, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 49, 1969, s. 91.
- [74] R. C. Chanaud, Variable and adaptive masking sound systems, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 60(1), 1976, s. s58.
- [75] RIL 243-1-2007, Rakennusten akustinen suunnittelu, akustiikan perusteet, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, 2007.
- [76] RIL 243-3-2008, Rakennusten akustinen suunnittelu, toimistot, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, 2008.
- [77] R. M. Finley, Acoustics and the Open-Plan School, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 48(1), 1970, s. 98.
- [78] R. Pirn, The Class Circle – an Acoustical Design Concepts for Open-Plan Schools, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 97, 1971, s. 97.
- [79] R. Pääkkönen, T. Vehviläinen, J. Jokitulppo, O. Niemi, S. Nenonen, Akustiikka ja uusi oppimisympäristö. S. Nenonen, S., S. Kärnä, J.-M. Junnonen, S. Tähtinen (toim.), *Oppiva kampus*. Suomen Yliopistokiinteistöt Oy, Tampere, 2015.
- [80] R. Pääkkönen, T. Vehviläinen, J. Jokitulppo, O. Niemi, S. Nenonen, J. Vinha, Acoustics and new learning environment – A case study, *Applied Acoustics*, Vol. 100, 2015, s. 74–78.
- [81] SFS 5907:2004, Rakennusten akustinen luokitus.
- [82] SFS-EN ISO 3382-1:2009, Measurement of room acoustic parameters, Performance spaces.
- [83] SFS-EN ISO 3382-3:2012, Measurement of room acoustic parameters, Open plan offices.
- [84] S. Hakala, Koululuokkien ääniergonomiariskit ja niiden yhteys opettajien äänioireisiin ja puheäänien akustisten parametrien työpäivän aikaisiin muutoksiin, *Pro Gradu –tutkielma, Yhteiskunta- ja kulttuuritieteiden yksikkö, logopedia, Tampereen Yliopisto*, 2011.
- [85] S. Sapir, Vocal attrition in voice students, survey findings, *Journal of Voice*, Vol. 7(1), 1993, s. 69074.

- [86] S. Simberg, A. Laine, E. Sala, A-M. Rönnemaa, Prevalence of Voice Disorders Among Future Teachers, *Journal of Voice*, Vol. 14(1), 2000, s. 231–235.
- [87] S. Simberg, E. Sala, K. Vehmas, A. Laine, Changes in Prevalence of Vocal Symptoms Among Teachers During a Twelve-Year Period, *Journal of Voice*, Vol. 19(1), 2005, p. 95–102.
- [88] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1: Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, määräykset ja ohjeet, ympäristöministeriö, 1998.
- [89] UBIKO – Inspiring learning, Koulusolu innostavana ja oppimista tukevana pedagogisena tilana, Oulun normaalikoulu, saatavissa: <https://norssiportti oulu.fi/index.php?7287>
- [90] Valtioneuvoston asetus perusopetuslaissa tarkoitetun opetuksen valtakunnallisista tavoitteista ja perusopetuksen tuntijaosta 422/2012, 2012.
- [91] V. Hongisto, J. Keränen, P. Larm, Simple Model for the Acoustical Design of Open-Plan Offices, *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 90, 2004, s. 481–495.

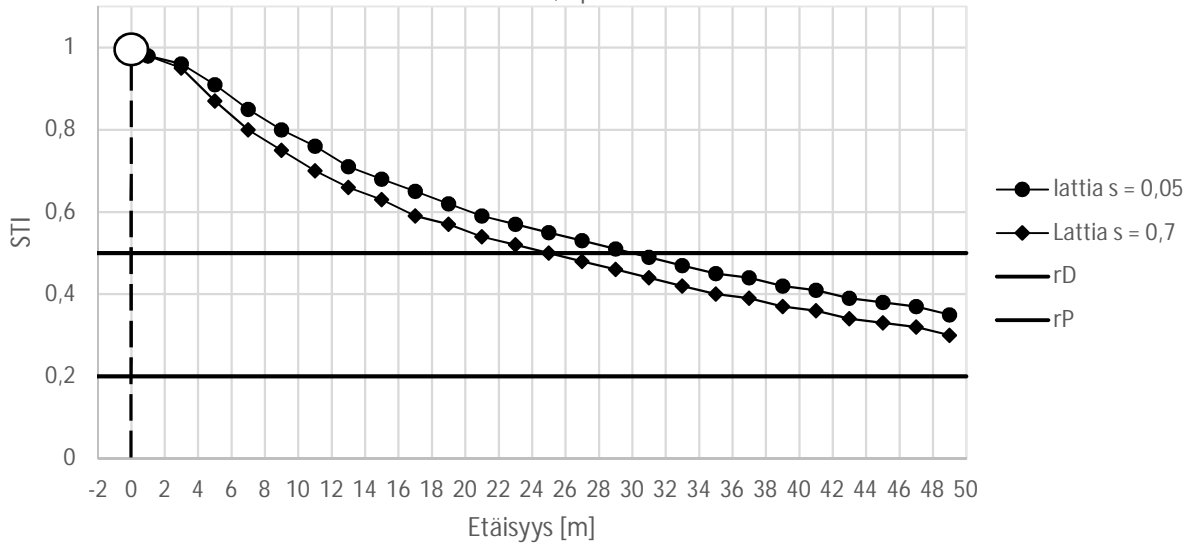
LIITTEET

- LIITE A: Tyhjän tilan mallinnustulokset
- LIITE B: Seinäkkeiden mallinnustulokset
- LIITE C: Verhojen mallinnustulokset
- LIITE D: Koulun 1 mittaustulokset
- LIITE E: Koulun 2 mittaustulokset
- LIITE F: Koulun 3 mittaustulokset
- LIITE G: Kysely ja sen tulokset
- LIITE H: Matkapäiväkirja vierailuista

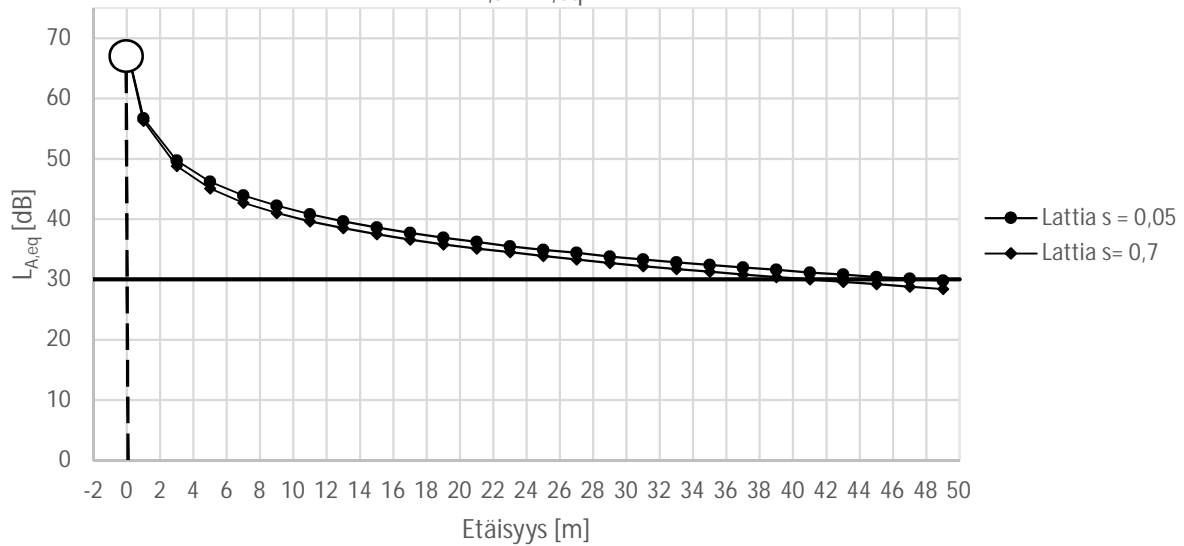
LIITE A: TYHJÄN TILAN MALLINNUSTULOKSET

Mallinnustulokset, tyhjä tila

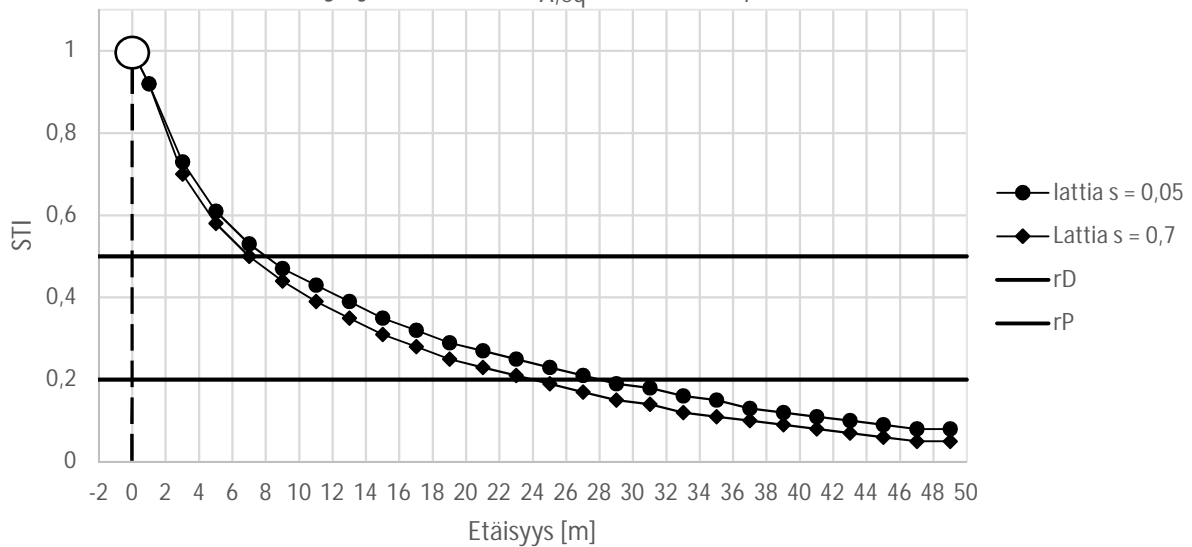
Tyhjä tila, STI, $L_{A,eq} = 30 \text{ dB}$, $h_r = 2,5 \text{ m}$



Tyhjä tila, $D_{2,S}$, $L_{A,eq} = 30 \text{ dB}$, $h_r = 2,5 \text{ m}$

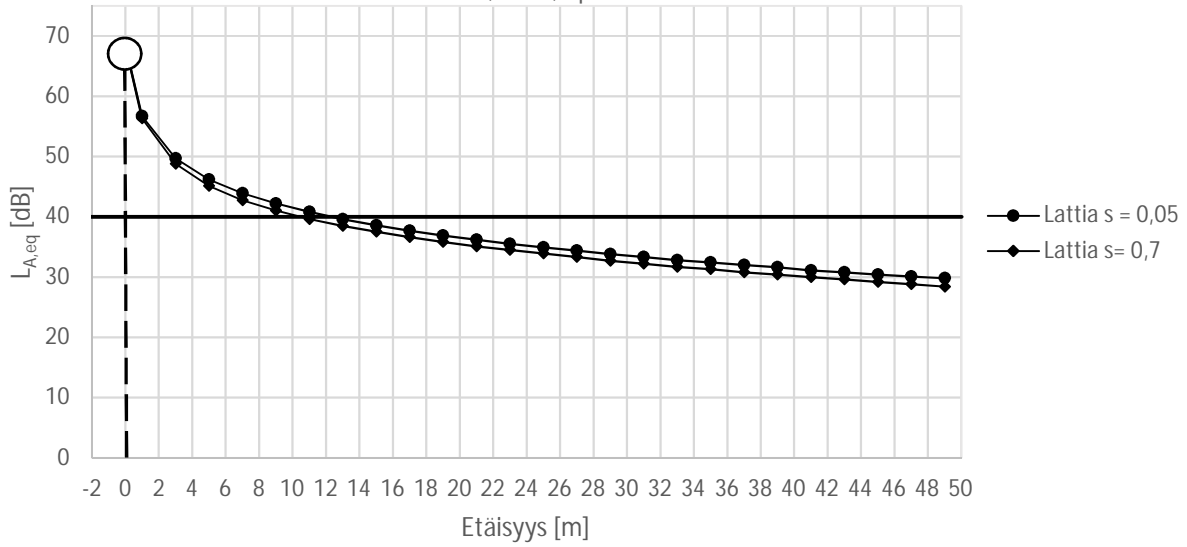


Tyhjä tila, STI, $L_{A,eq} = 40 \text{ dB}$, $h_r = 2,5 \text{ m}$

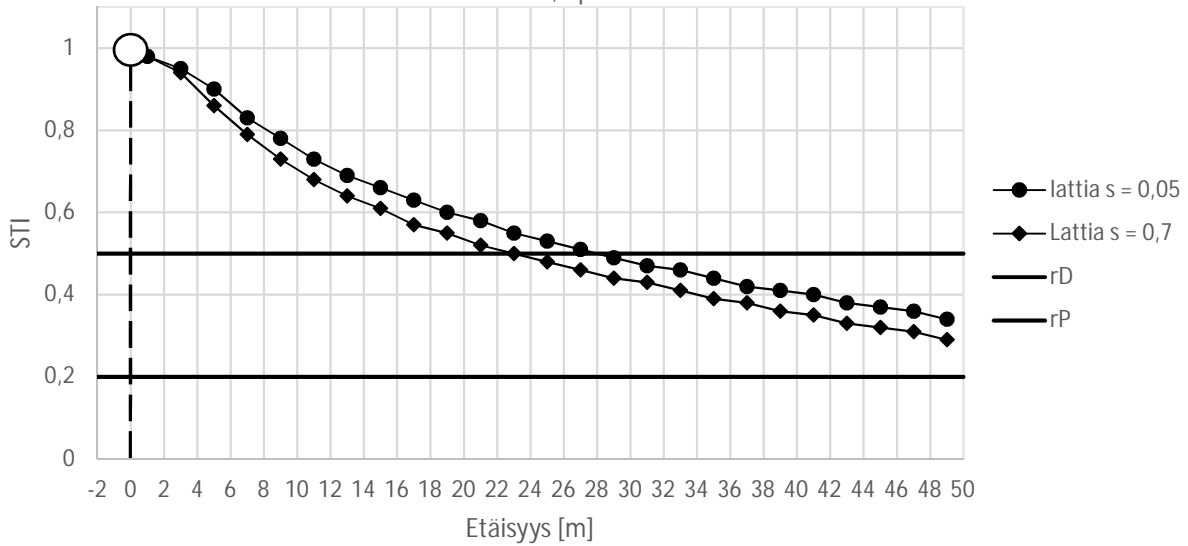


Mallinnustulokset, tyhjä tila

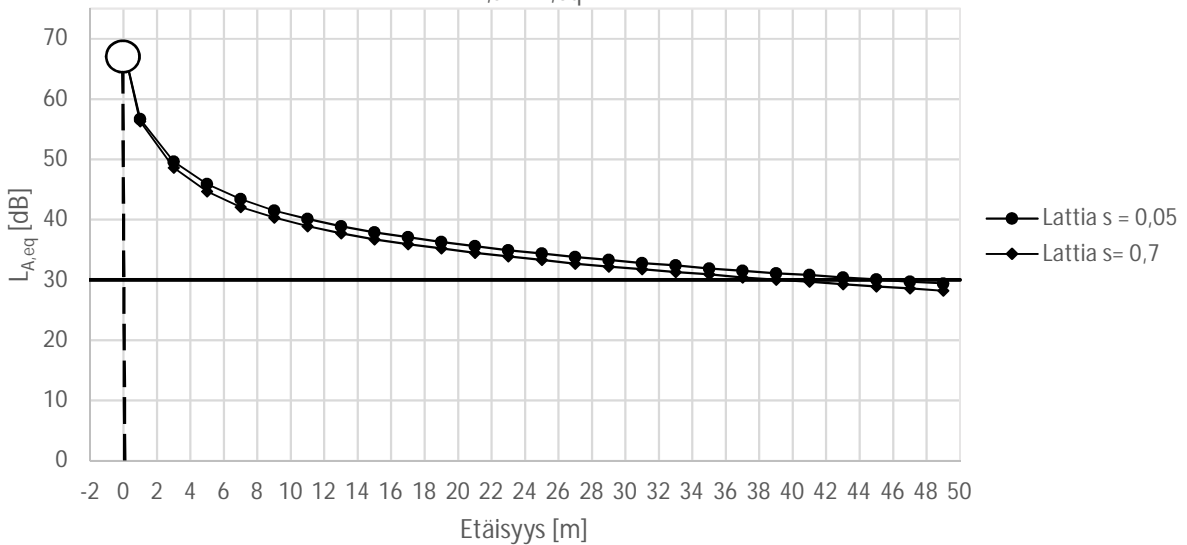
Tyhjä tila, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 40$ dB, $h_r = 2,5$ m



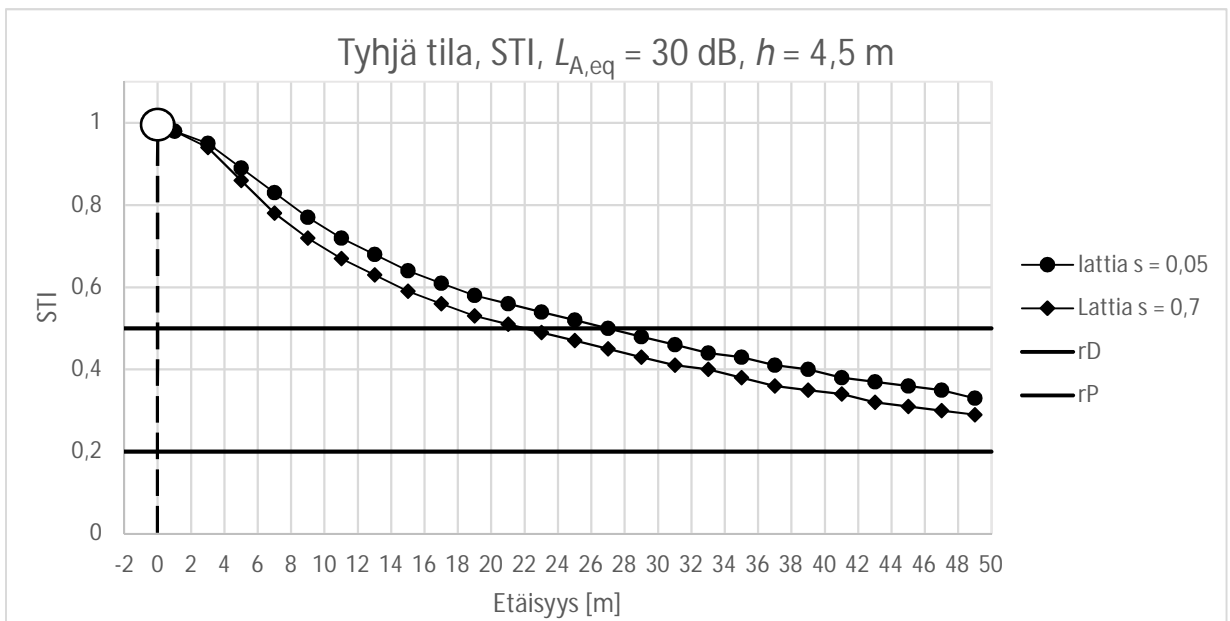
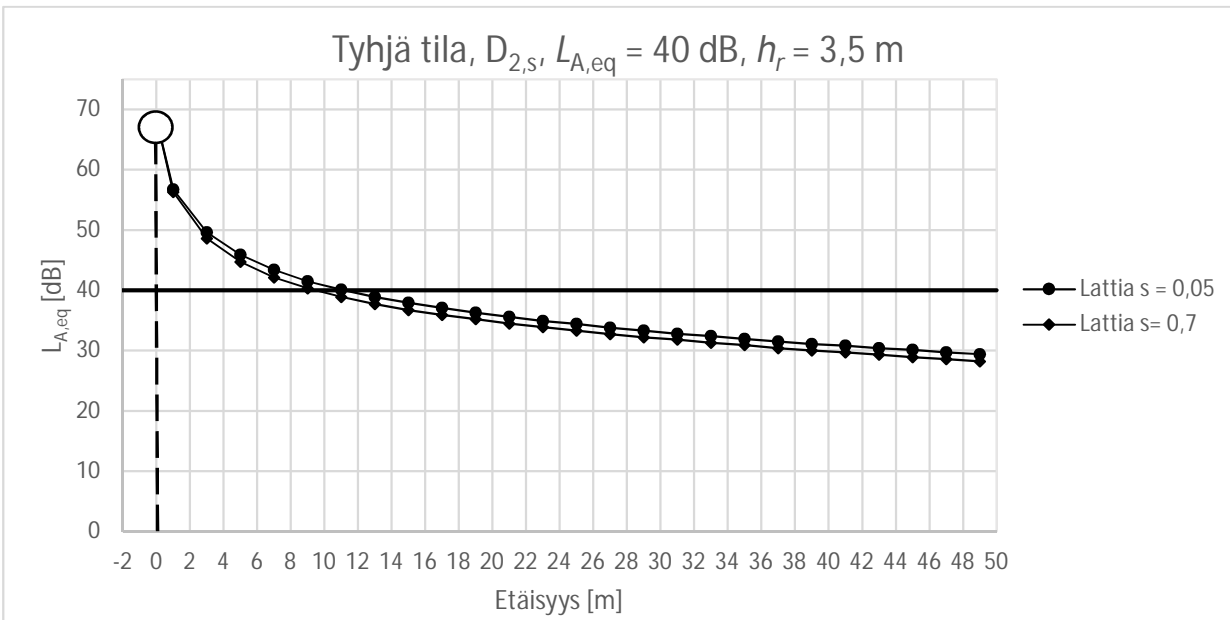
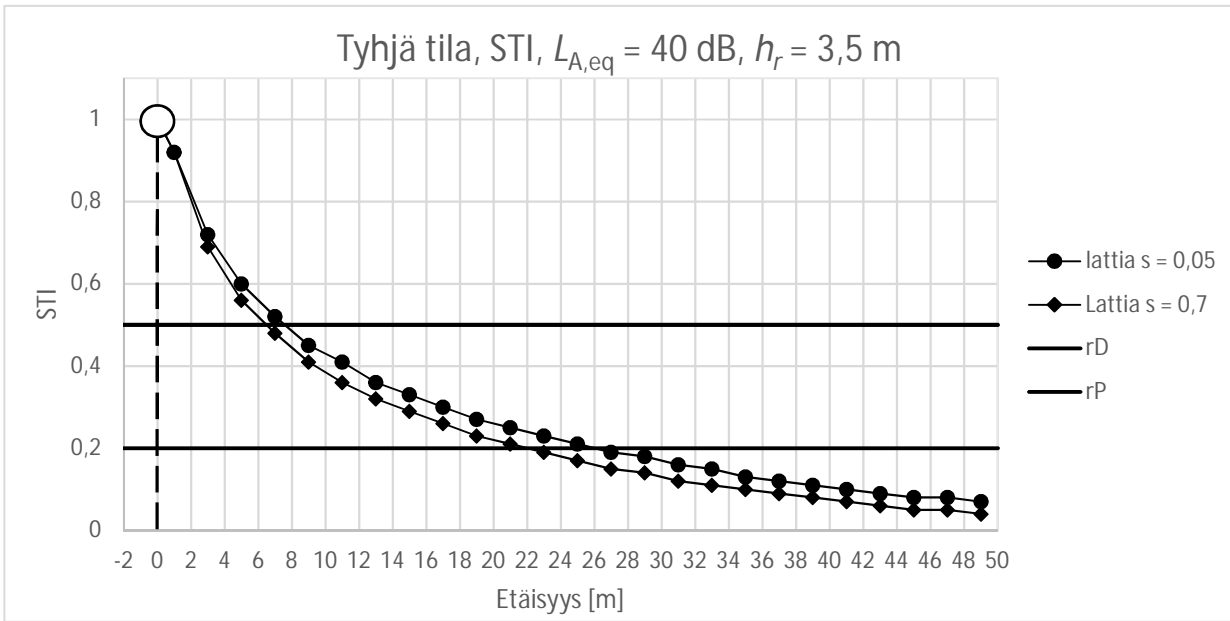
Tyhjä tila, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB, $h_r = 3,5$ m



Tyhjä tila, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 30$ dB, $h_r = 3,5$ m

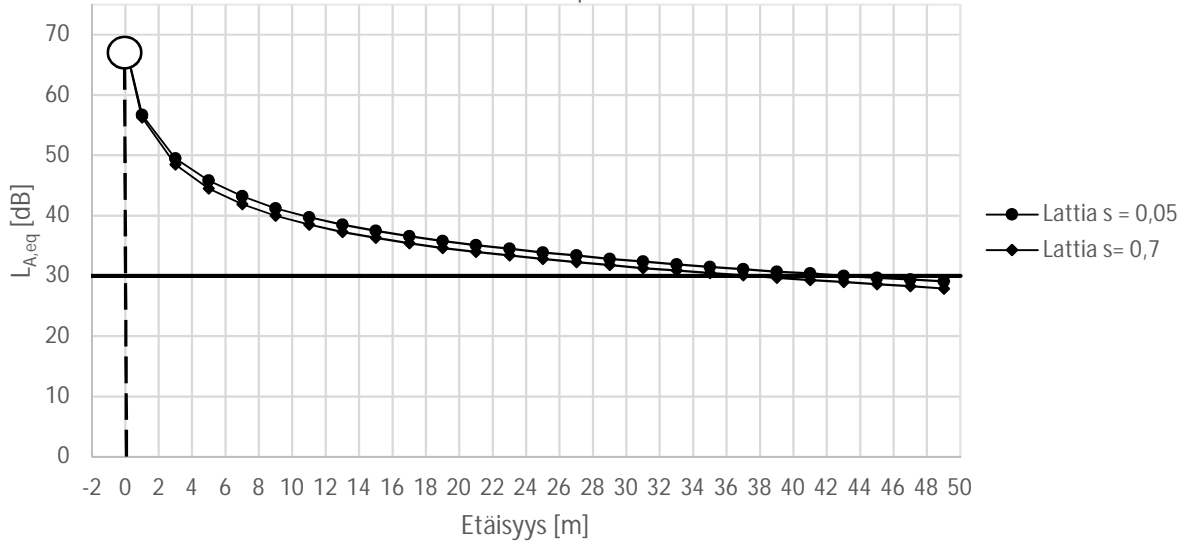


Mallinnustulokset, tyhjä tila

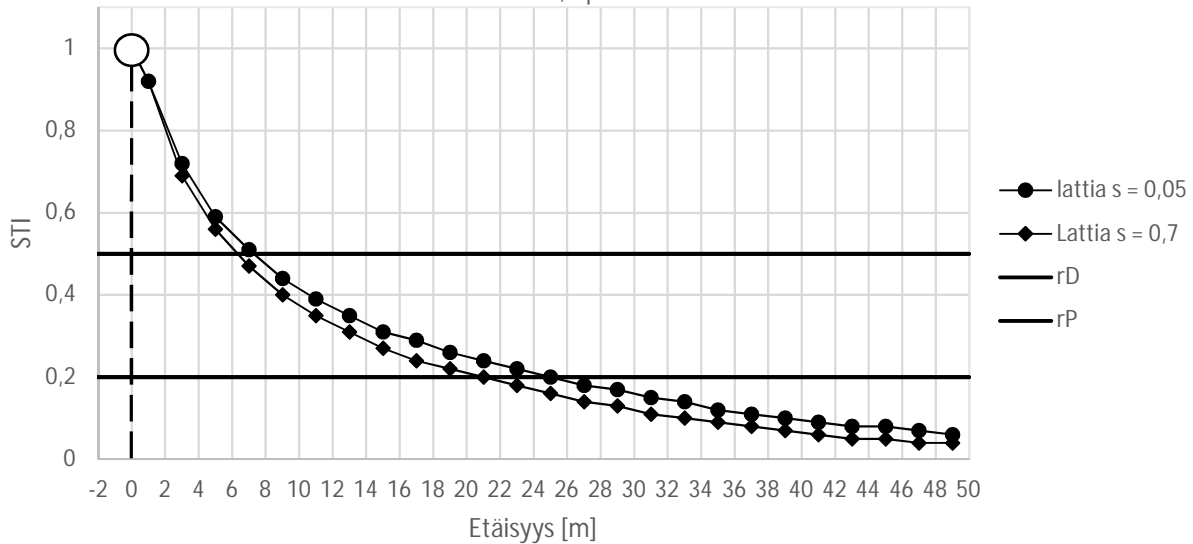


Mallinnustulokset, tyhjä tila

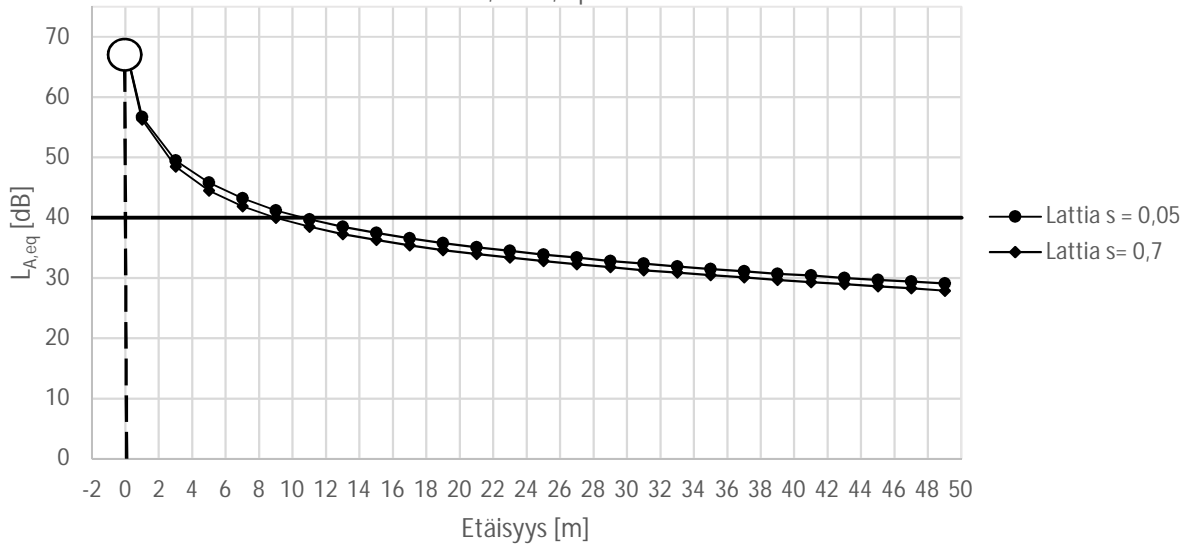
Tyhjä tila, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 30$ dB, $h_r = 4,5$ m



Tyhjä tila, STI, $L_{A,eq} = 40$ dB, $h = 4,5$ m

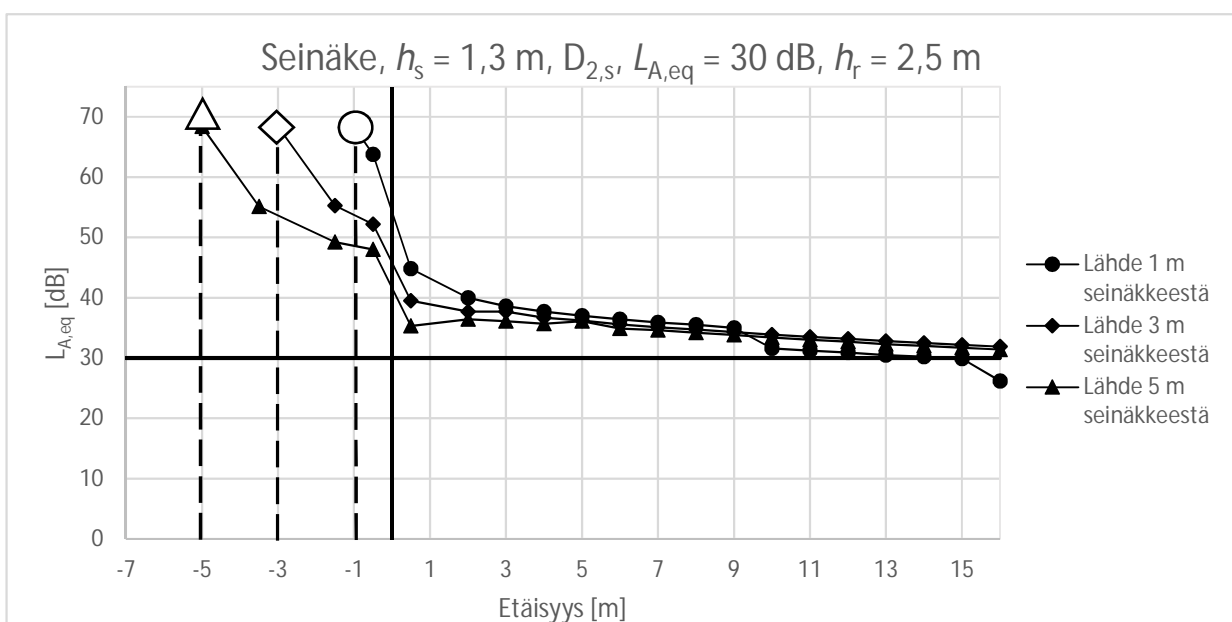
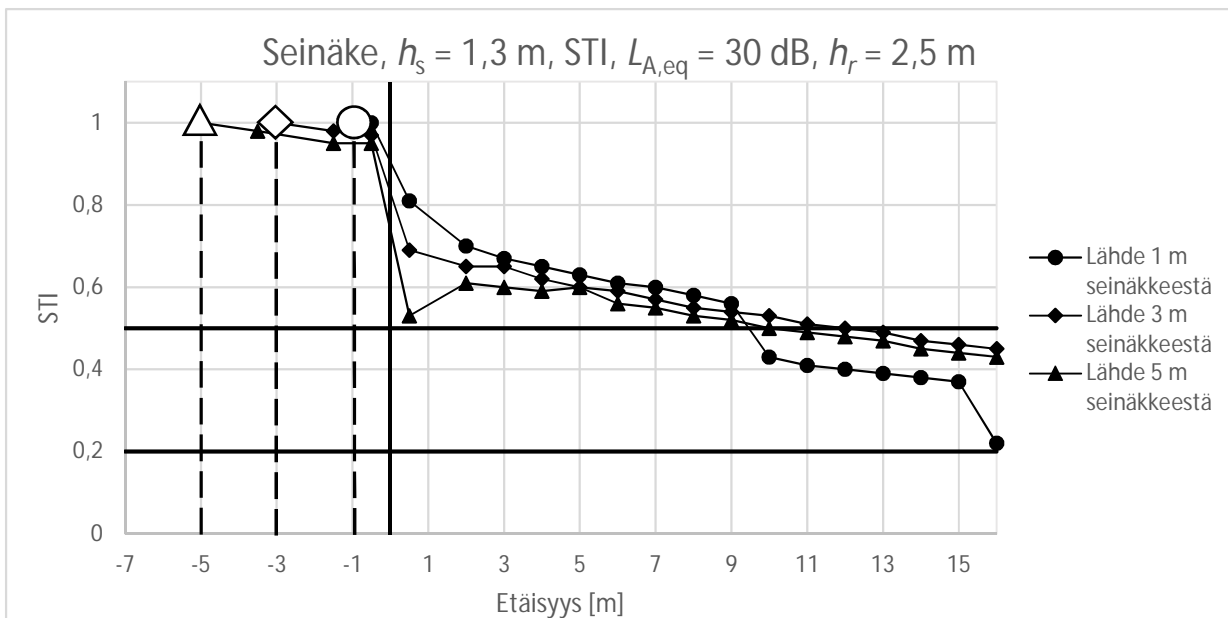
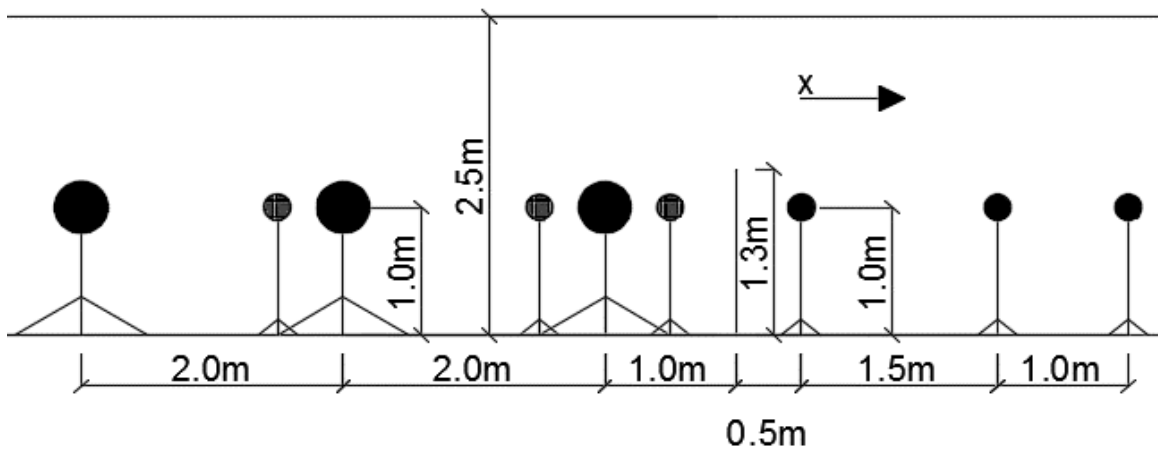


Tyhjä tila, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 40$ dB, $h_r = 4,5$ m

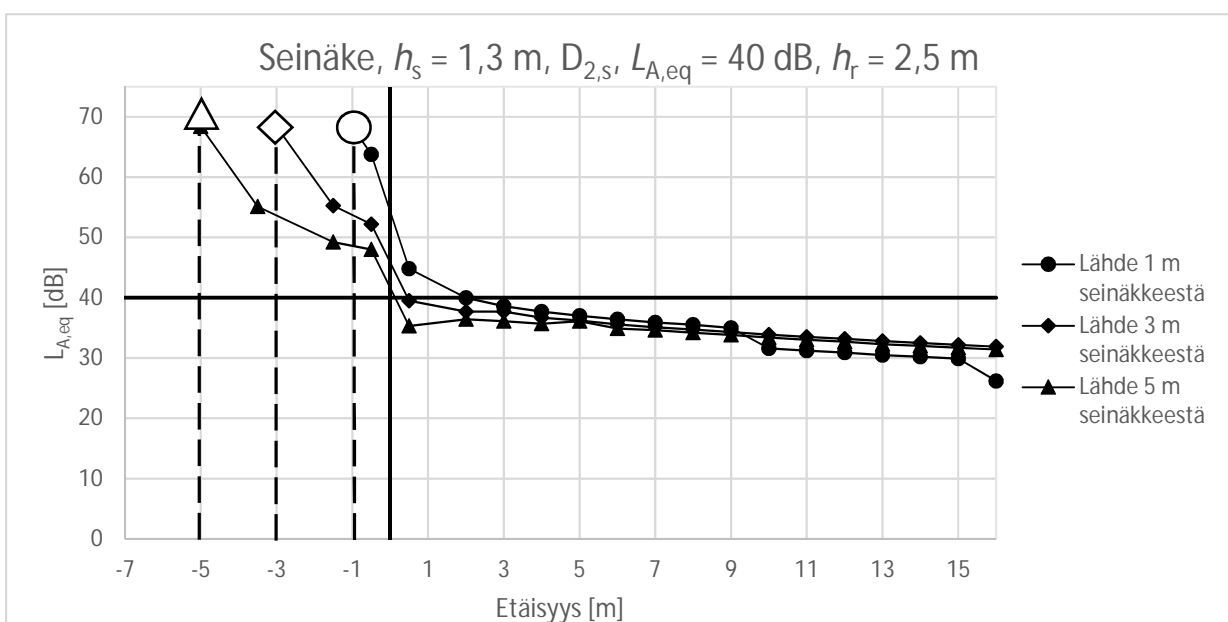
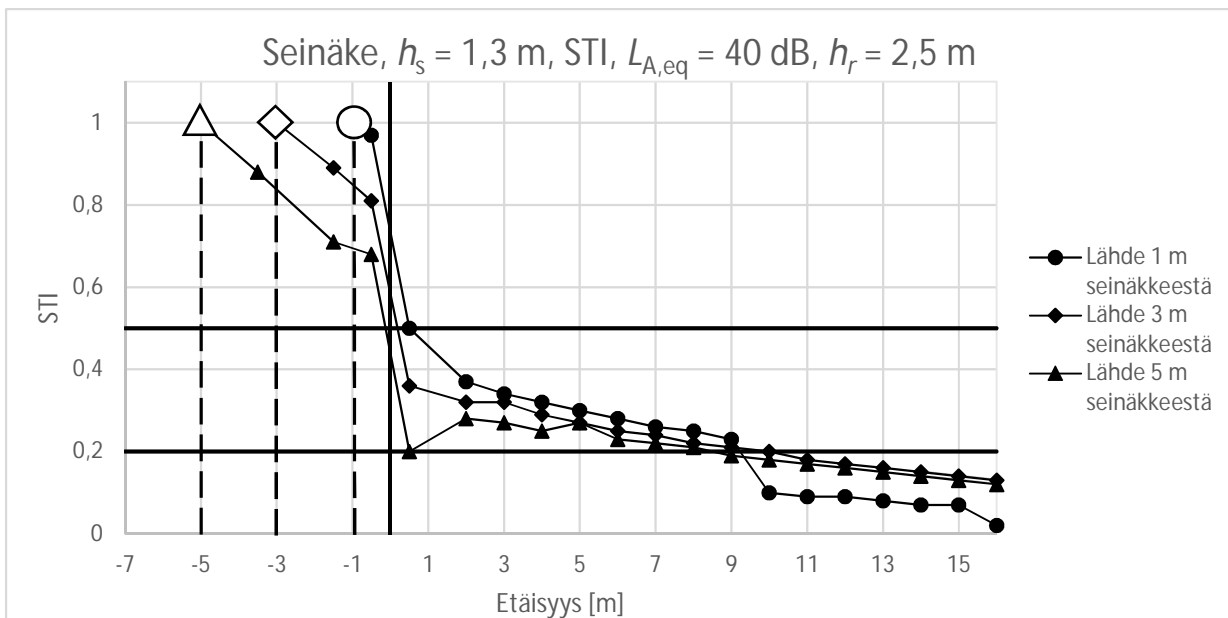
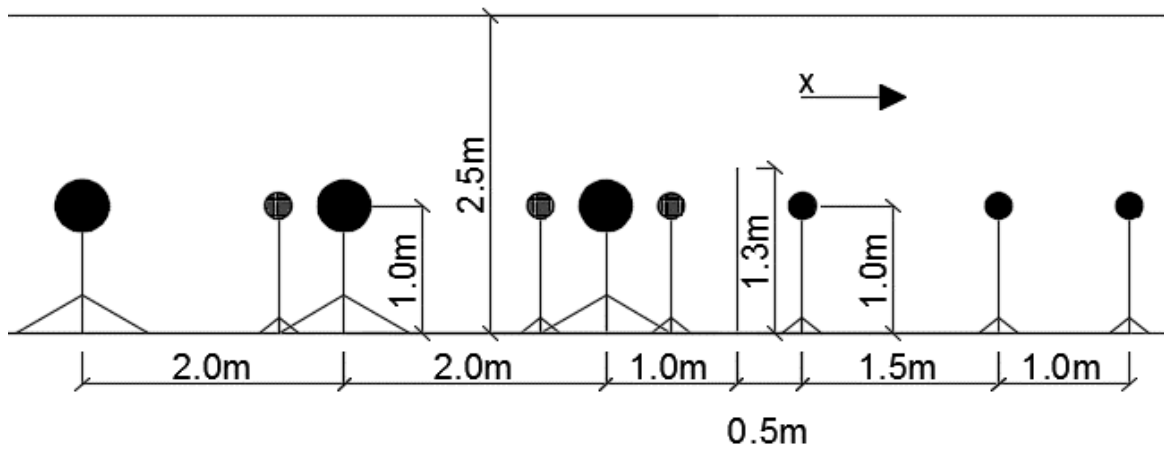


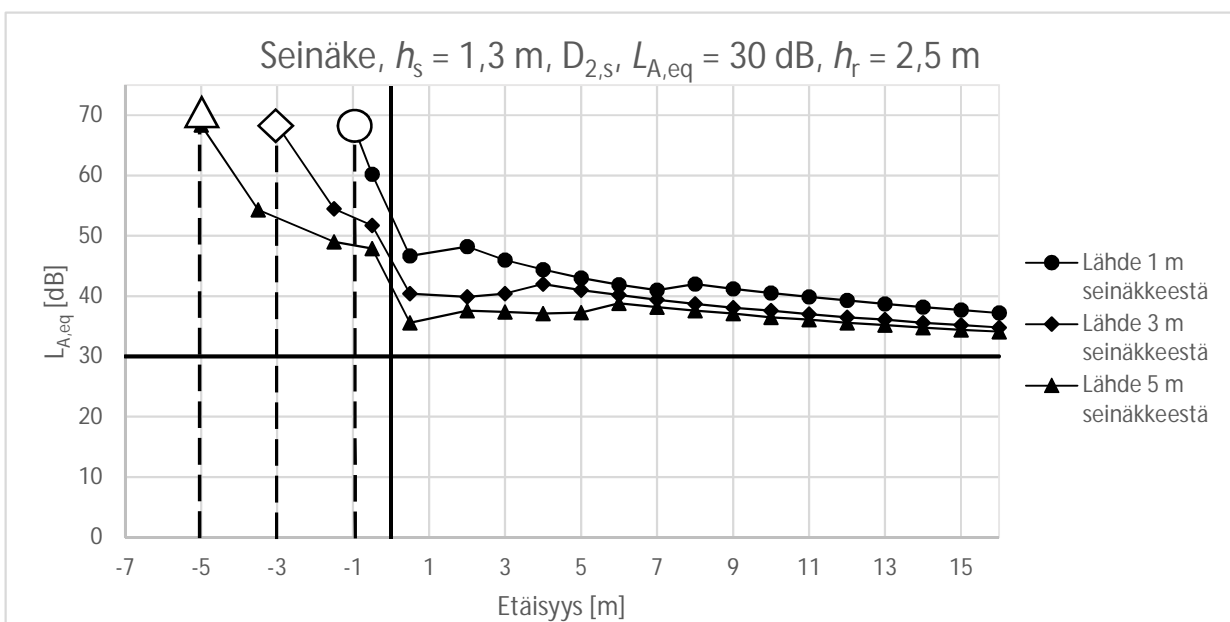
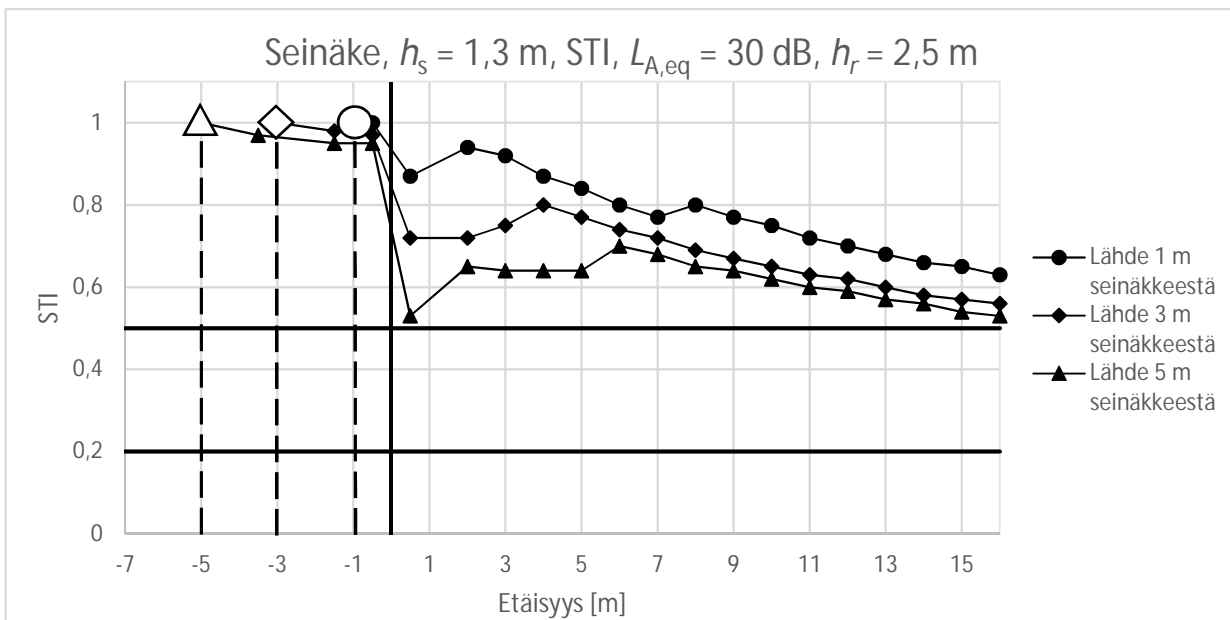
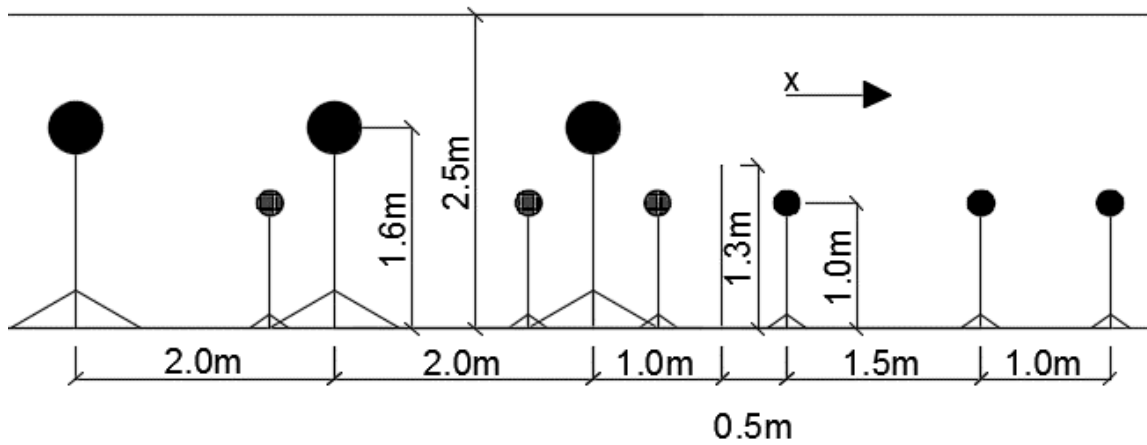
LIITE B: SEINÄKKEIDEN MALLINNUSTULOKSET

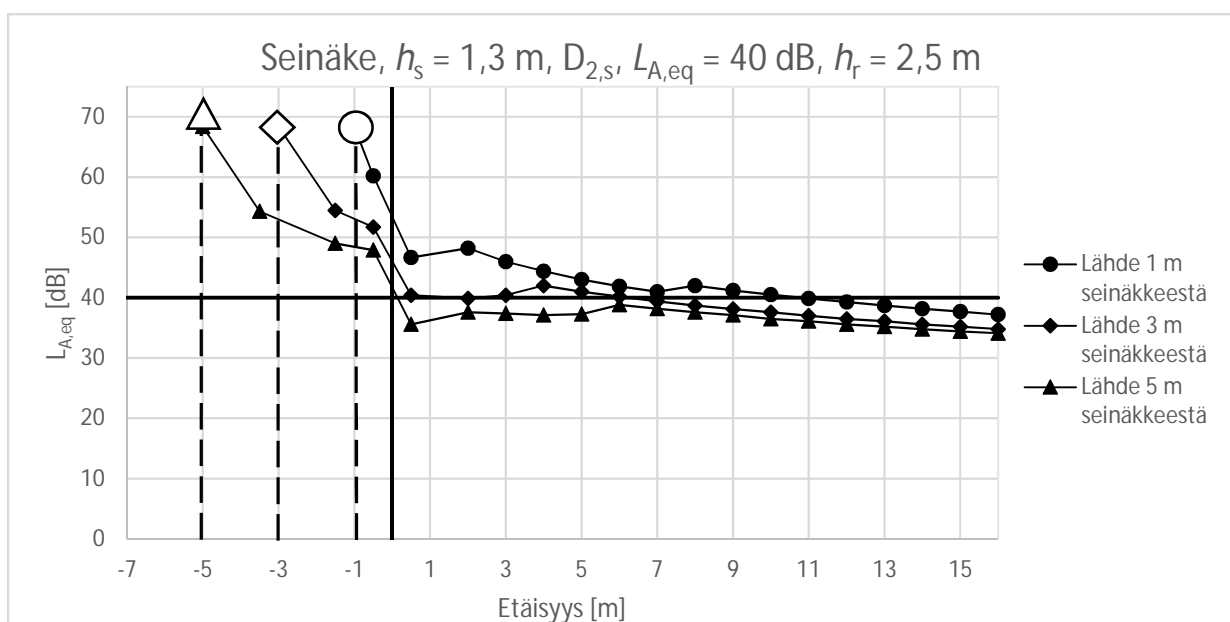
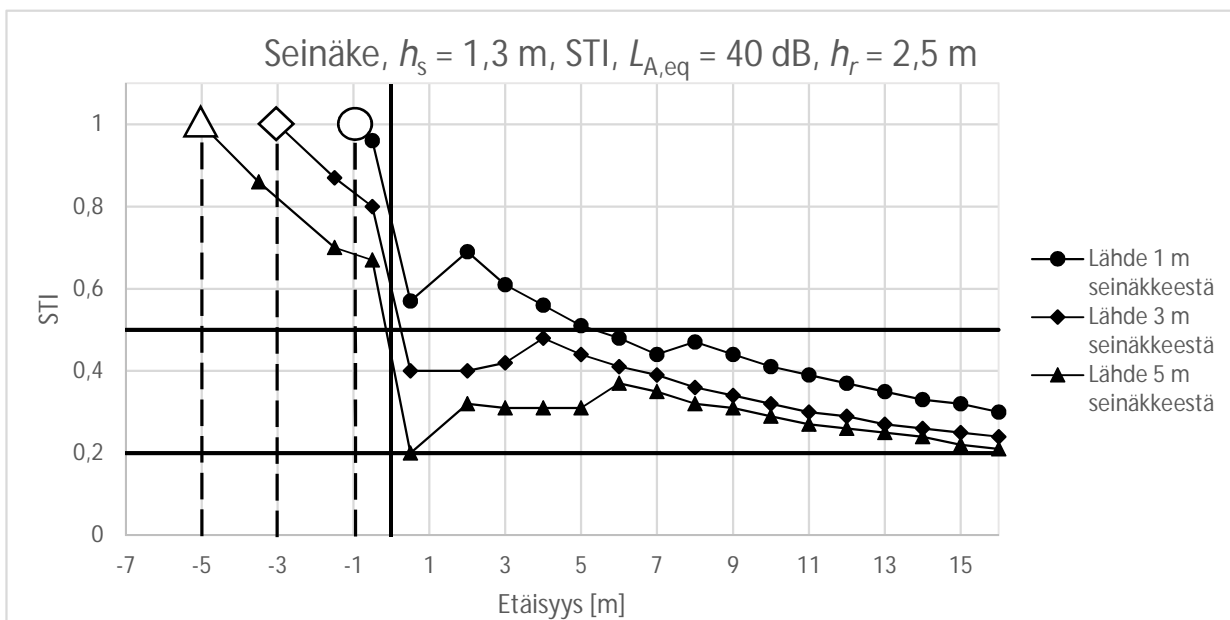
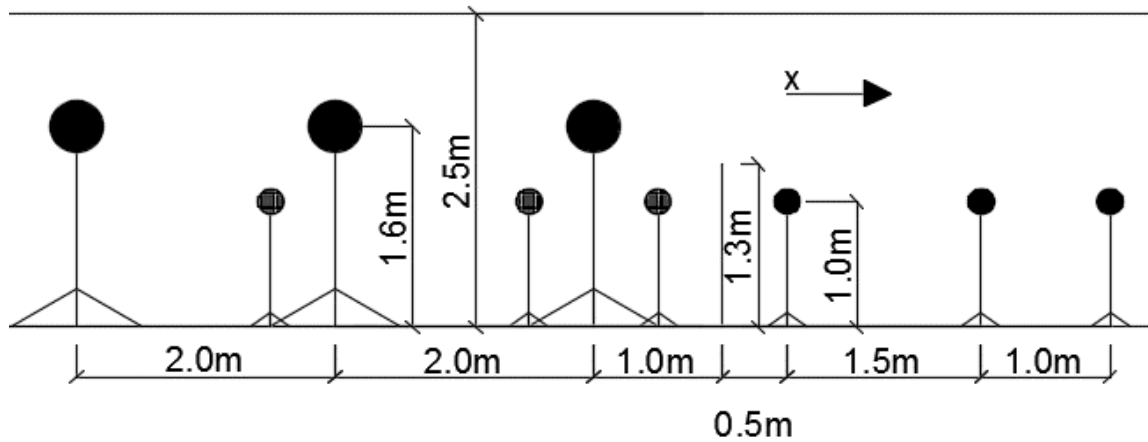
Äänilähteen korkeus $h_s = 1,0$ m

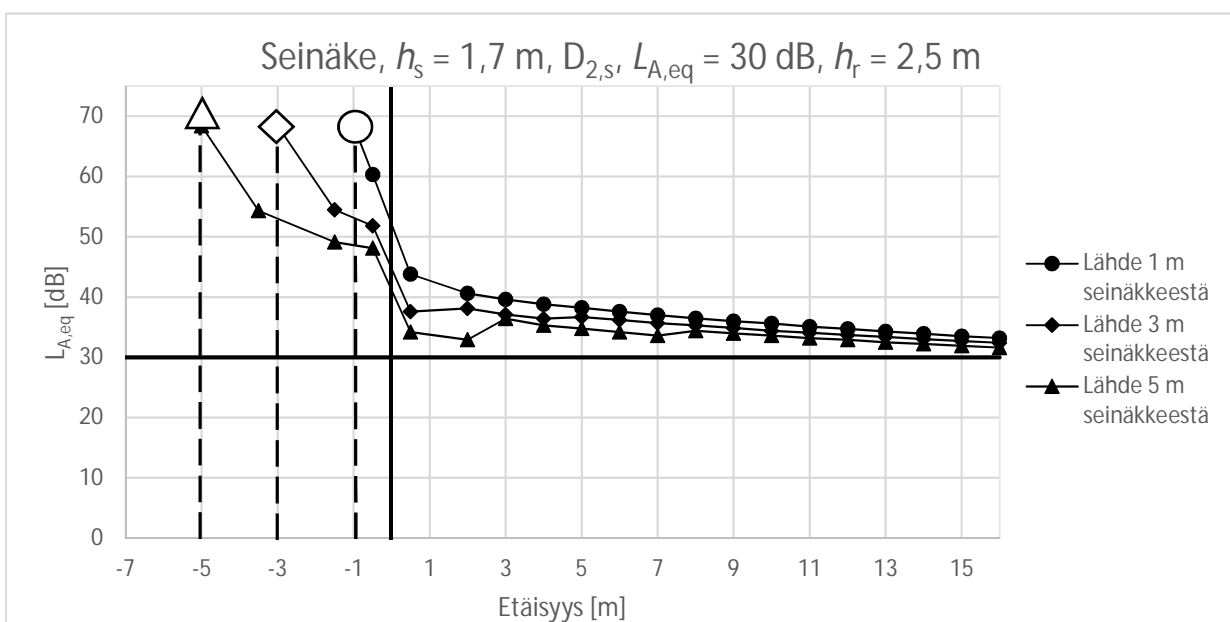
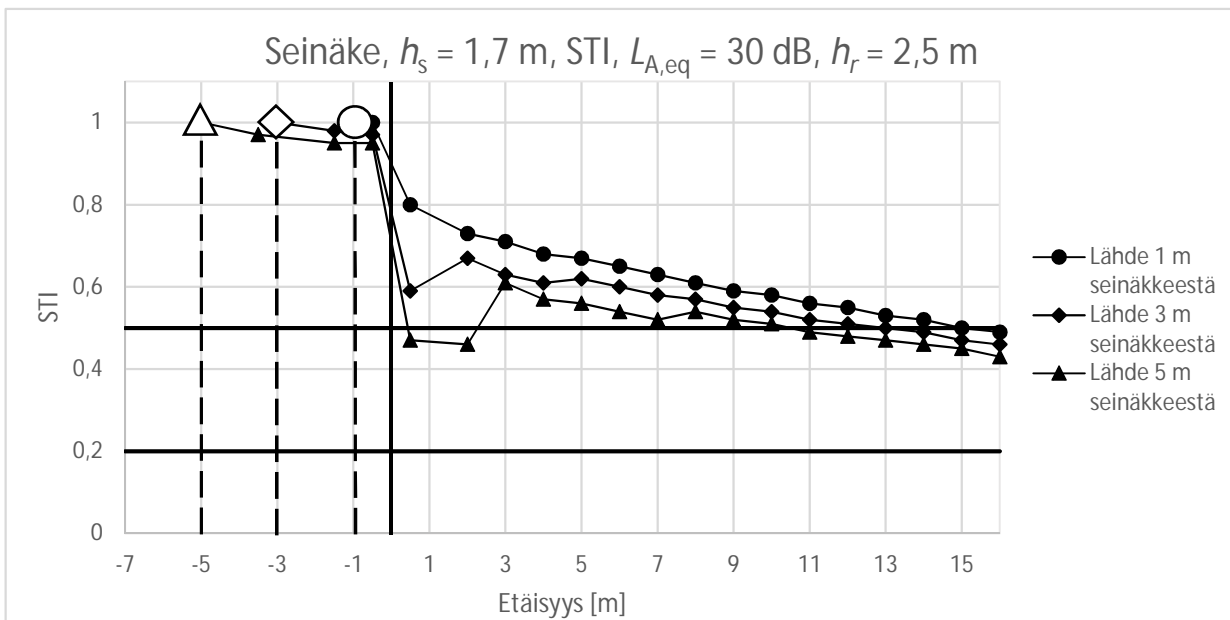
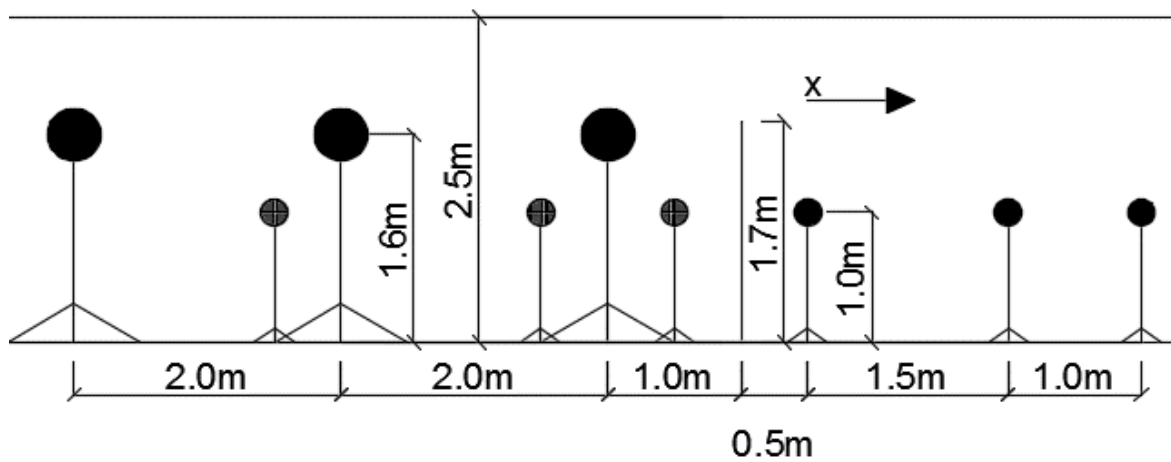


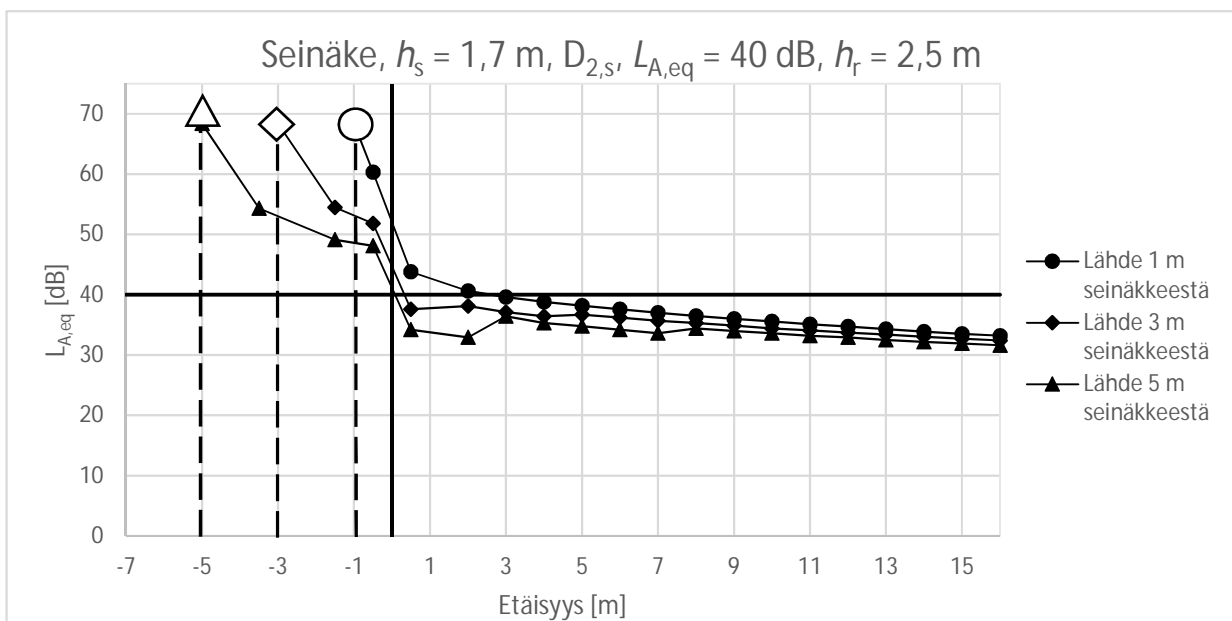
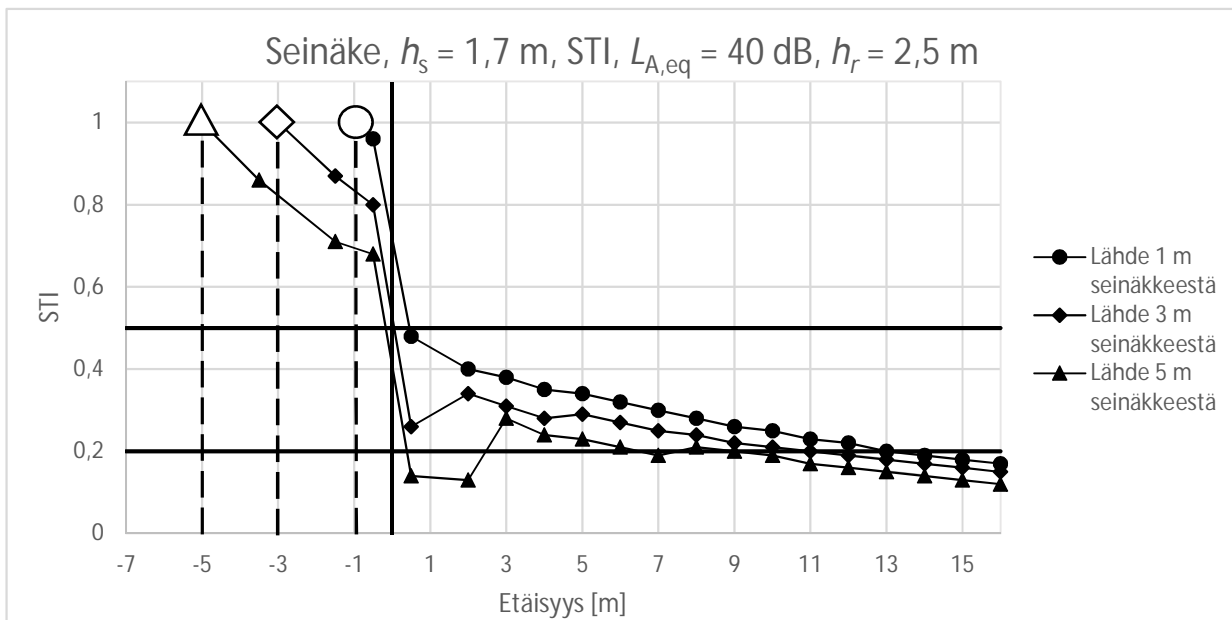
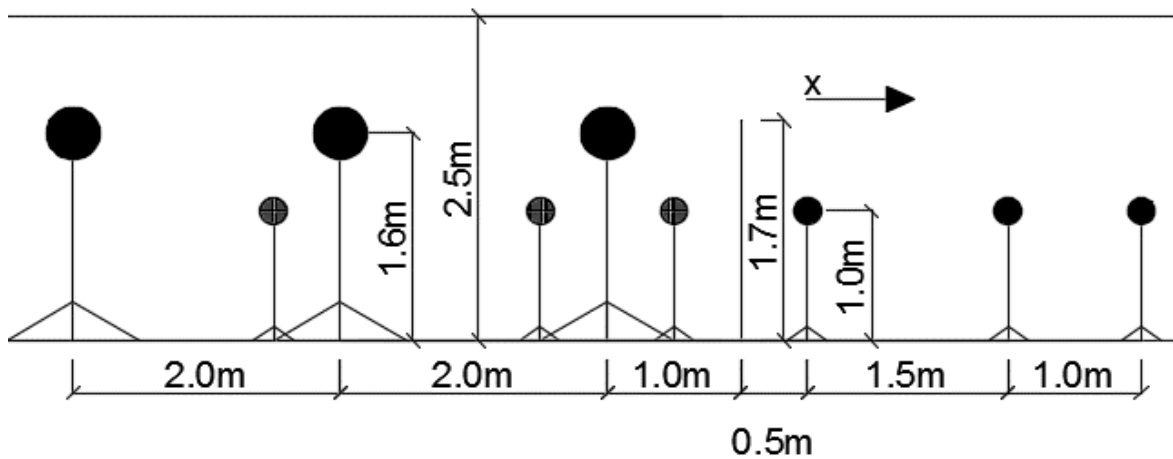
Äänilähteen korkeus $h_s = 1,0$ m

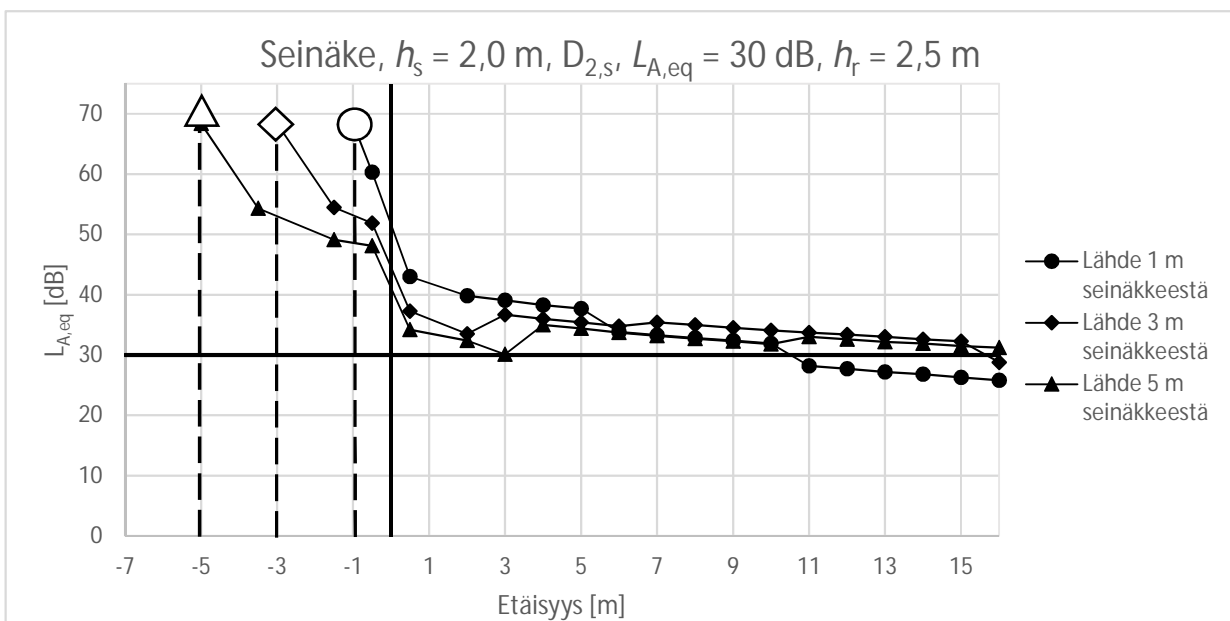
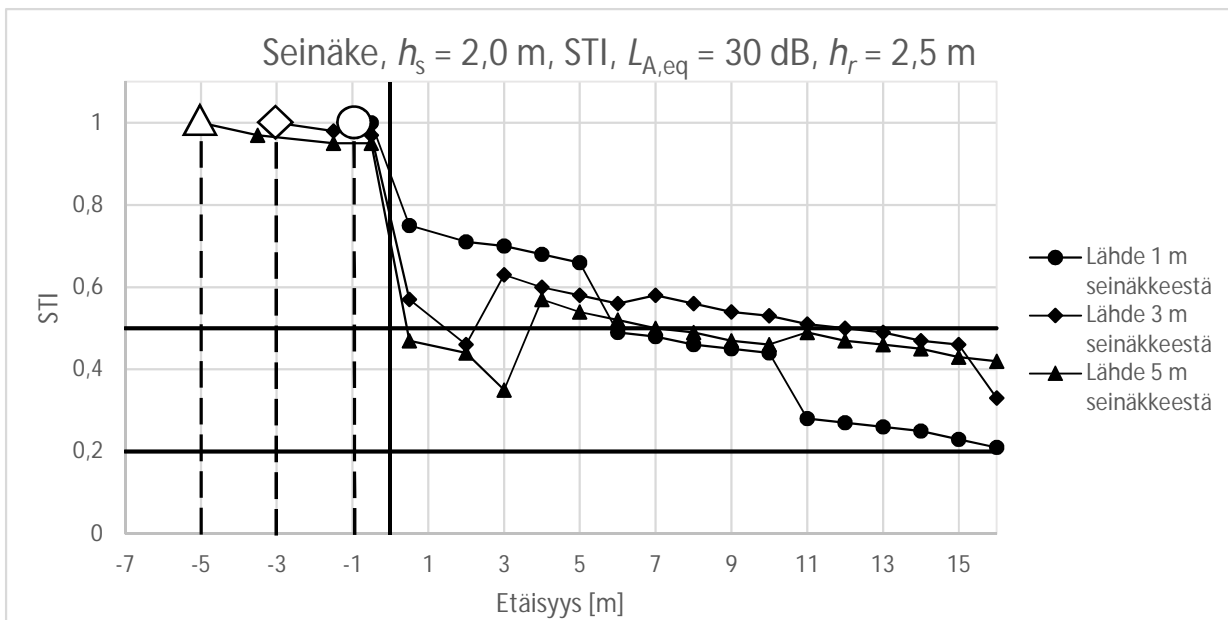
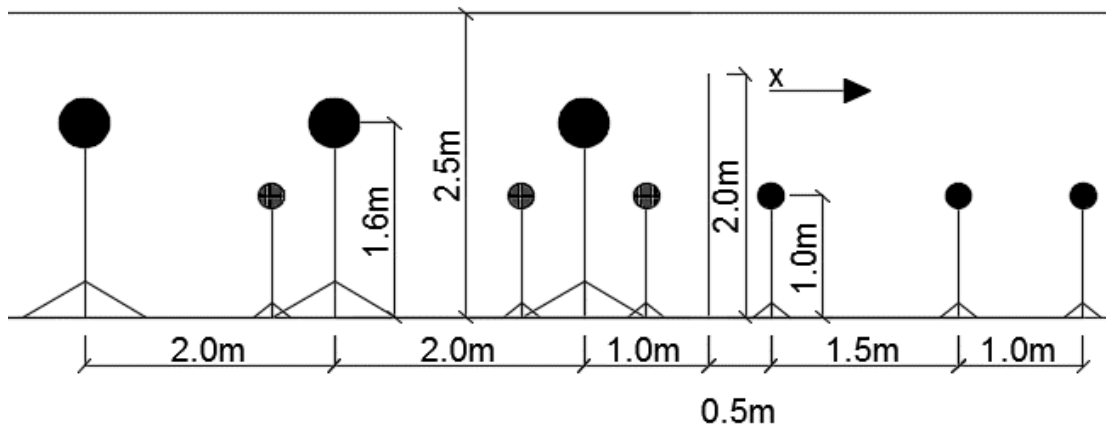


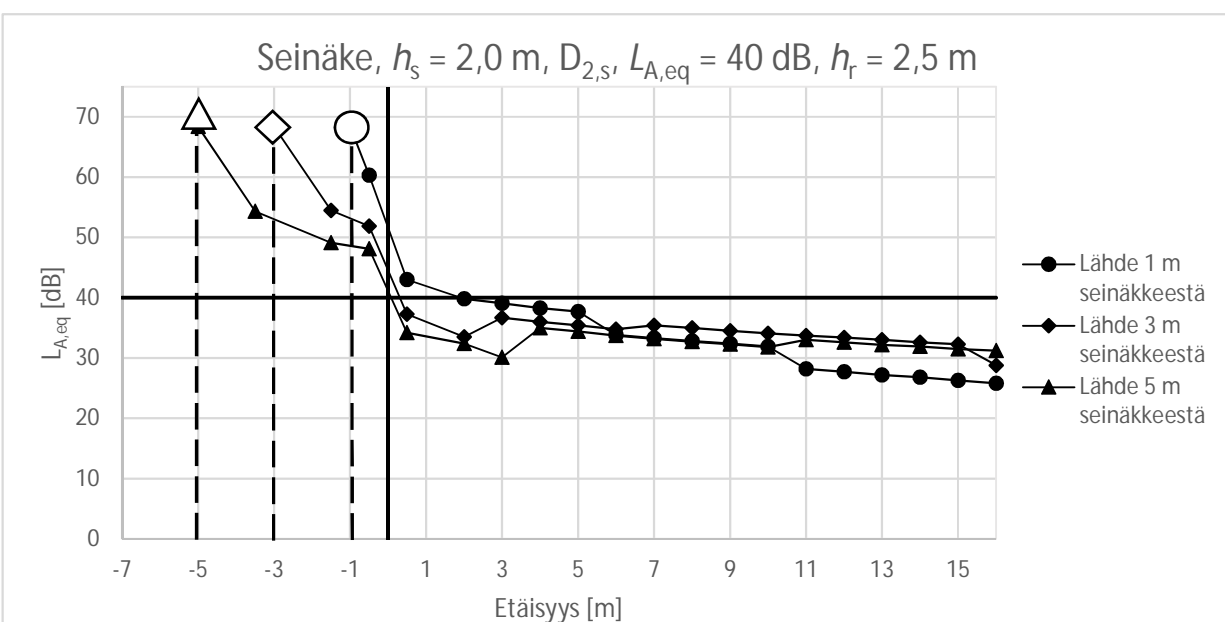
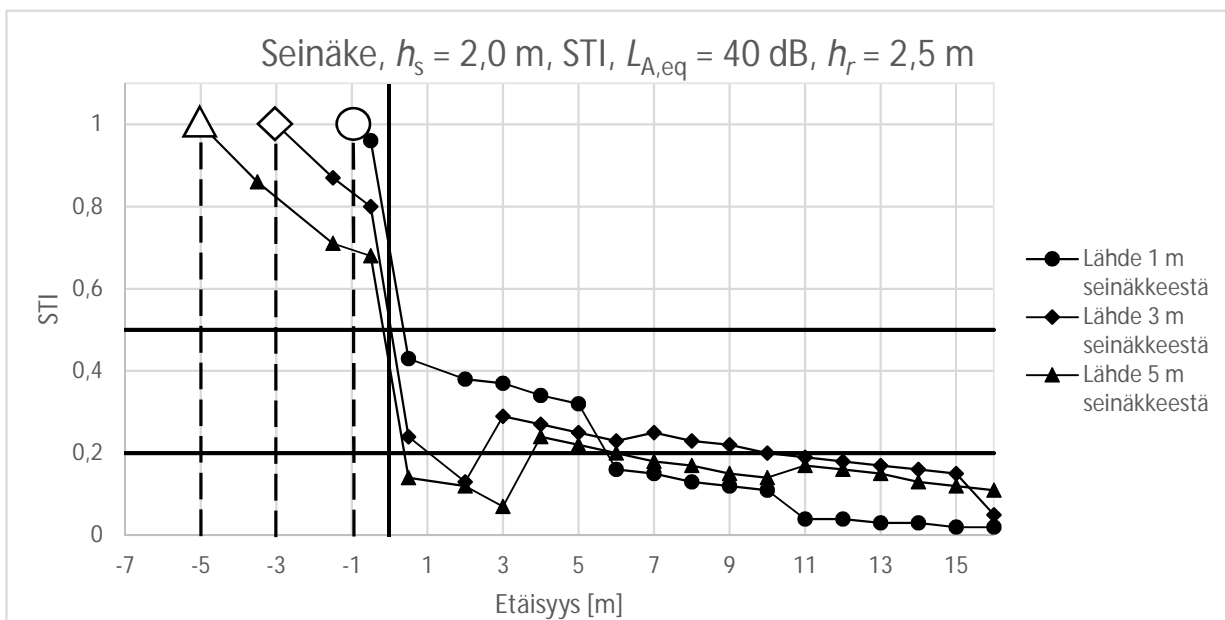
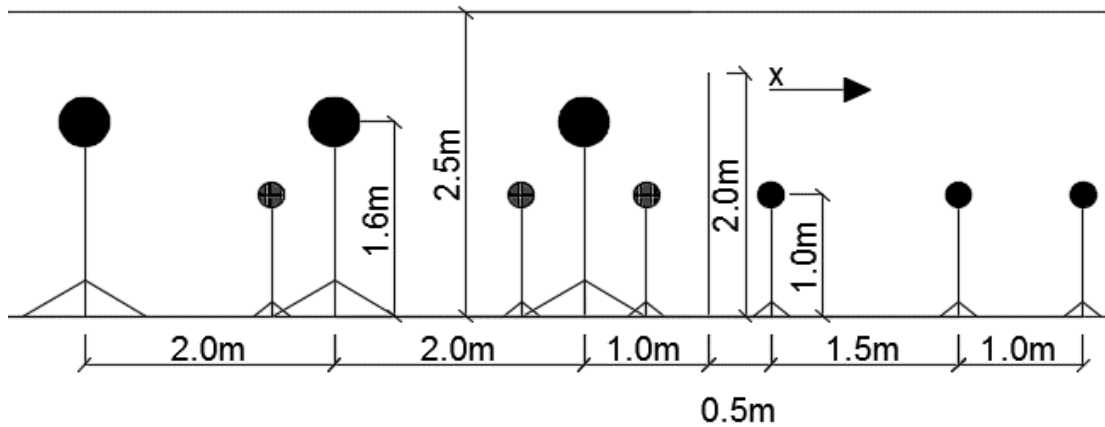




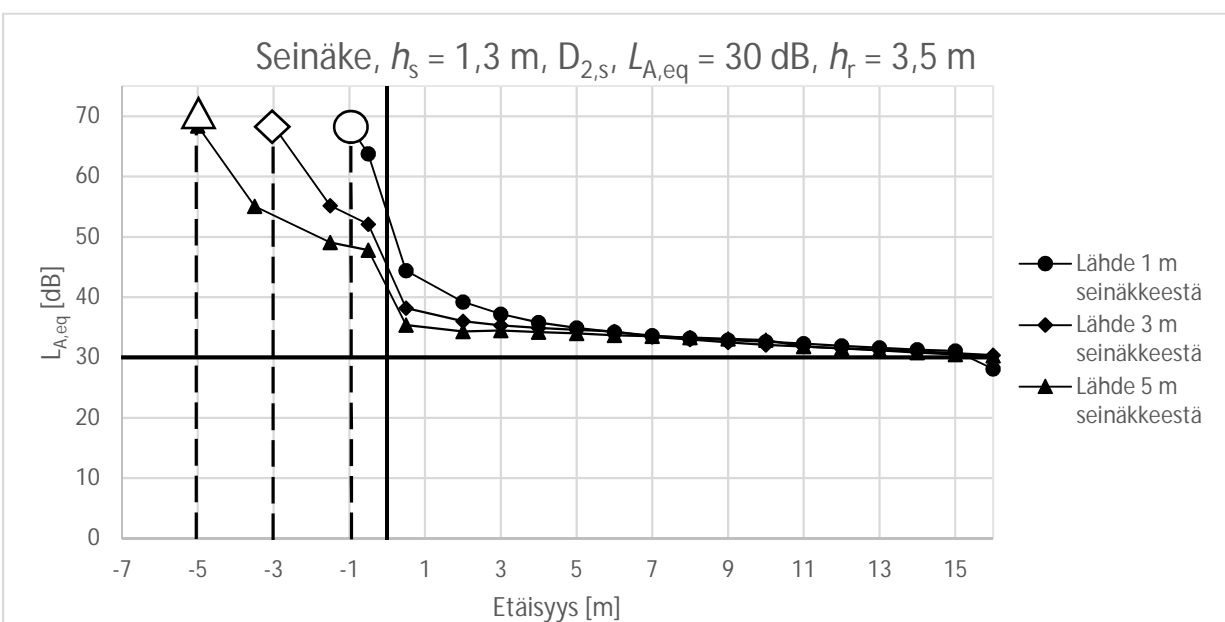
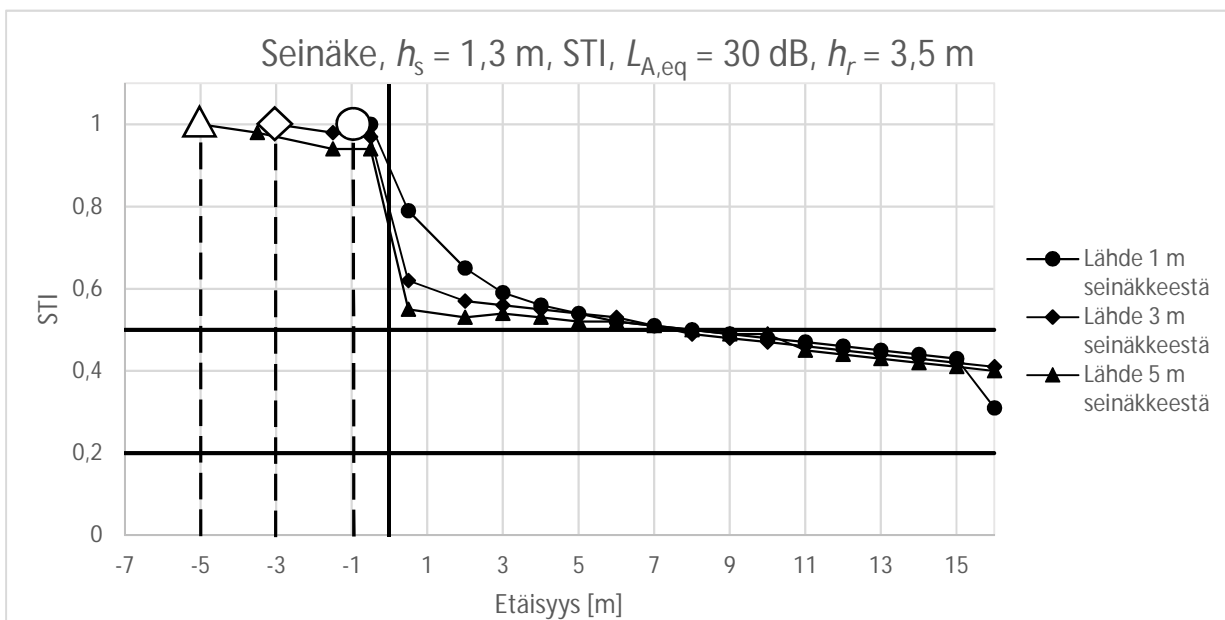
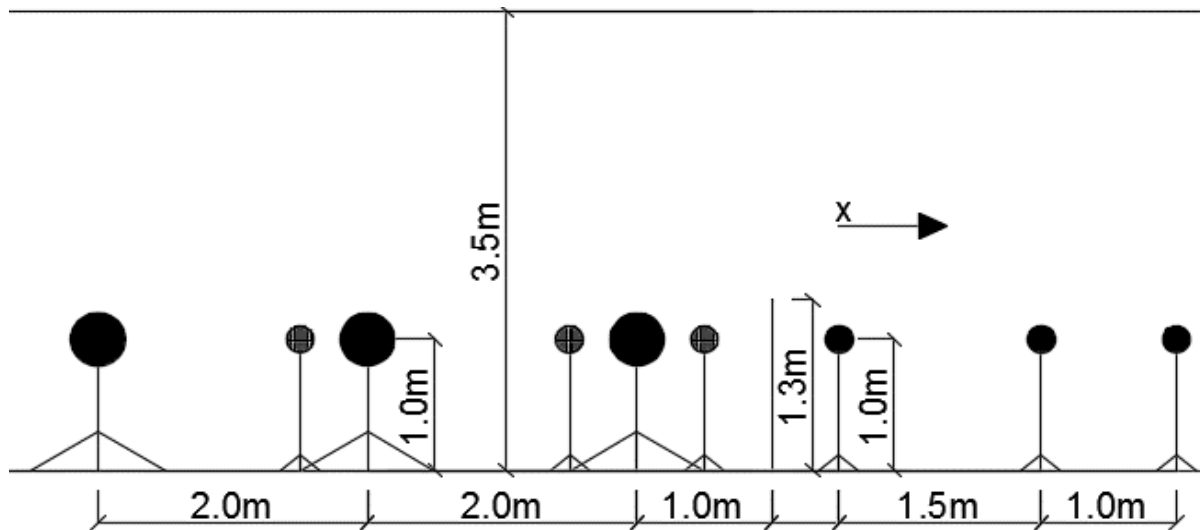




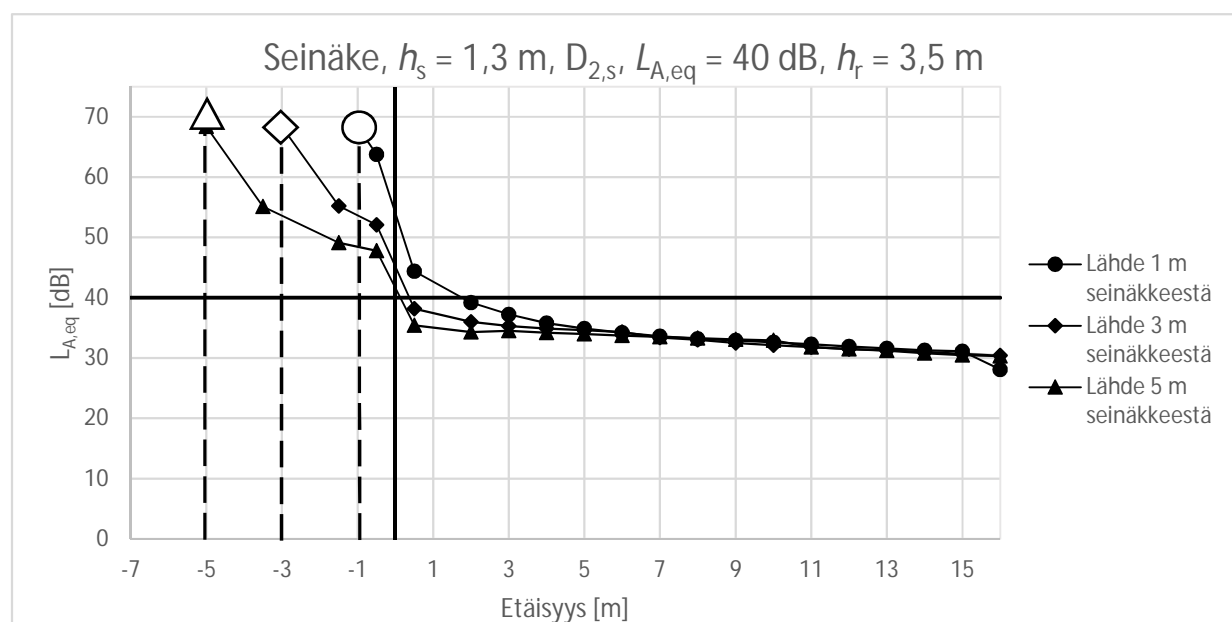
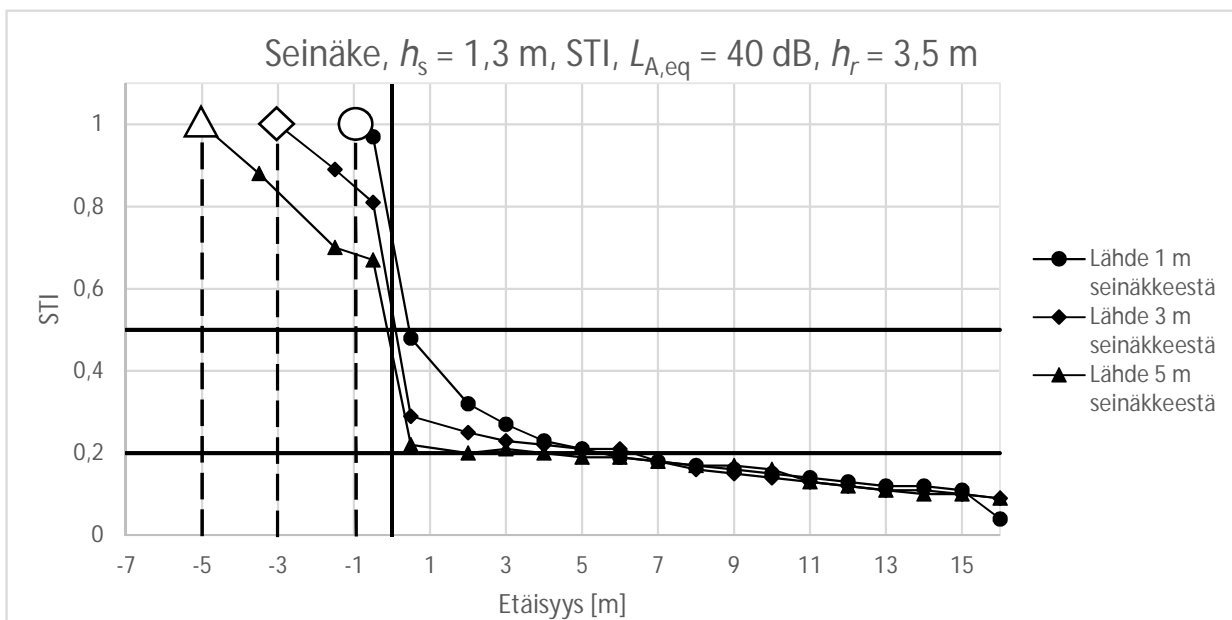
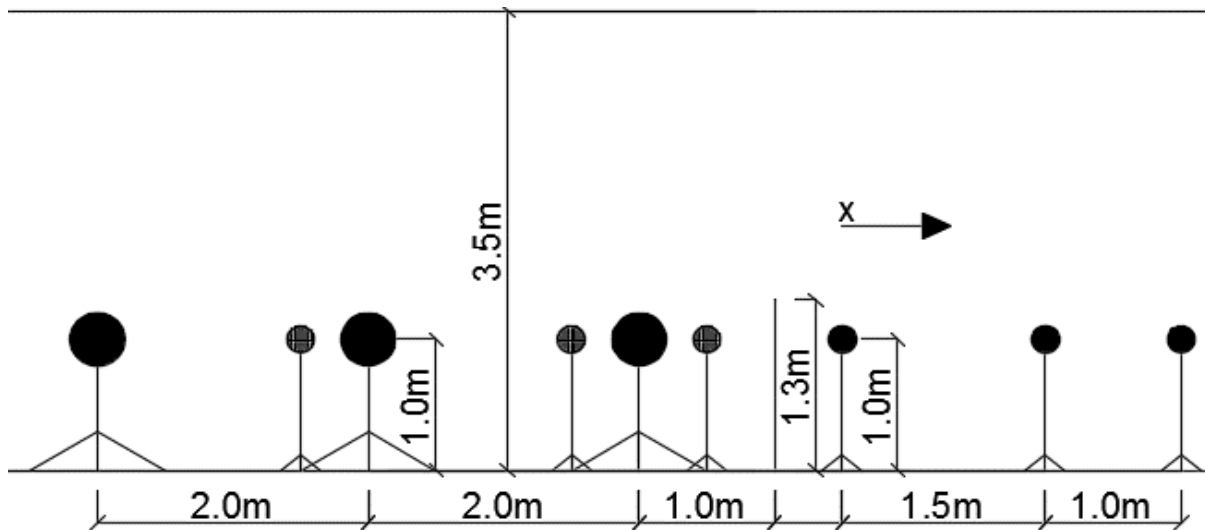


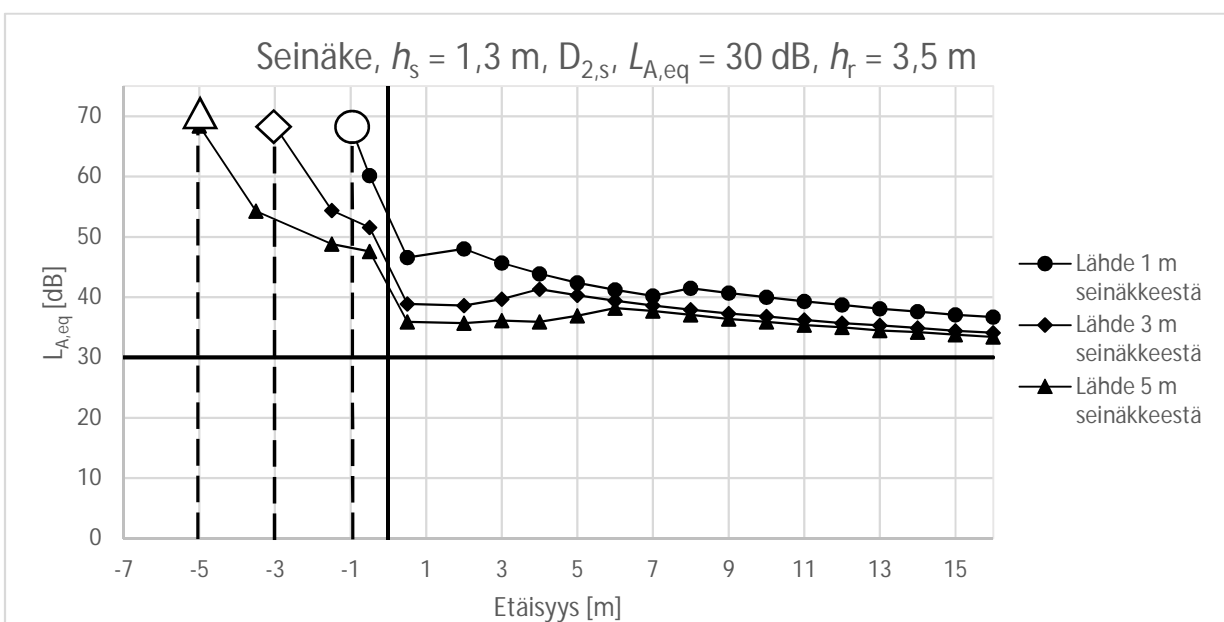
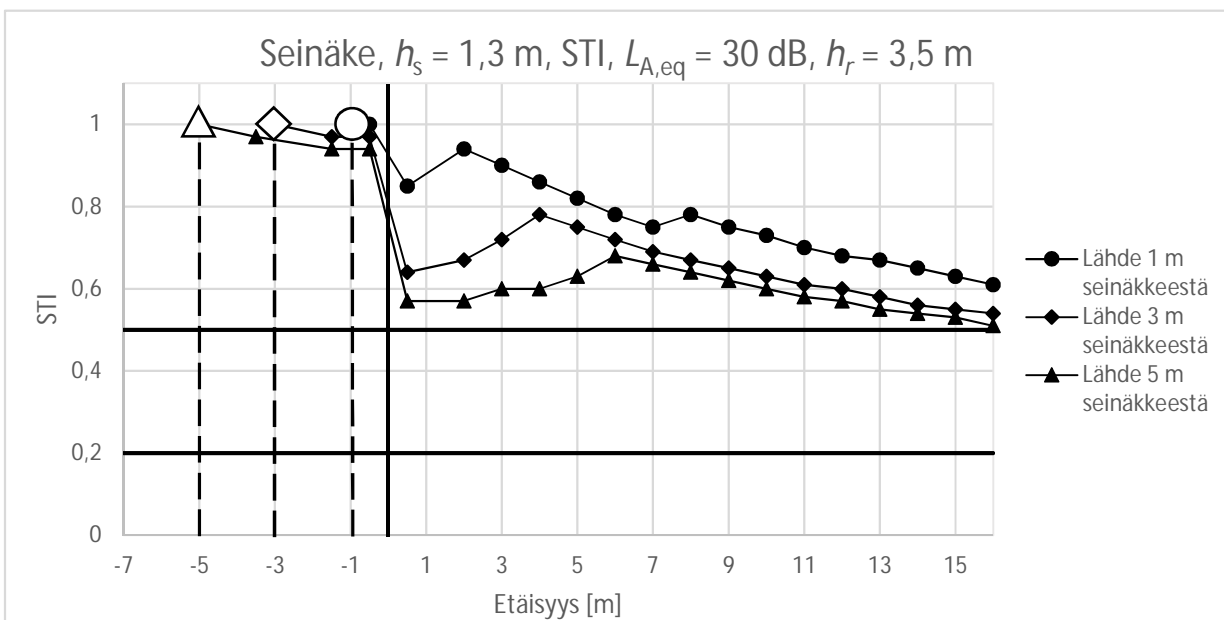
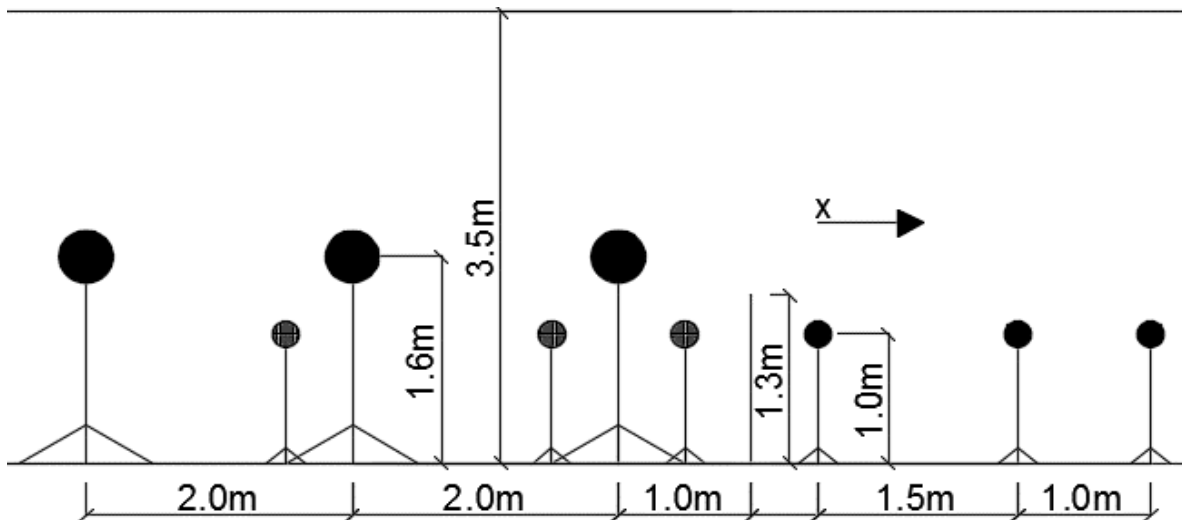


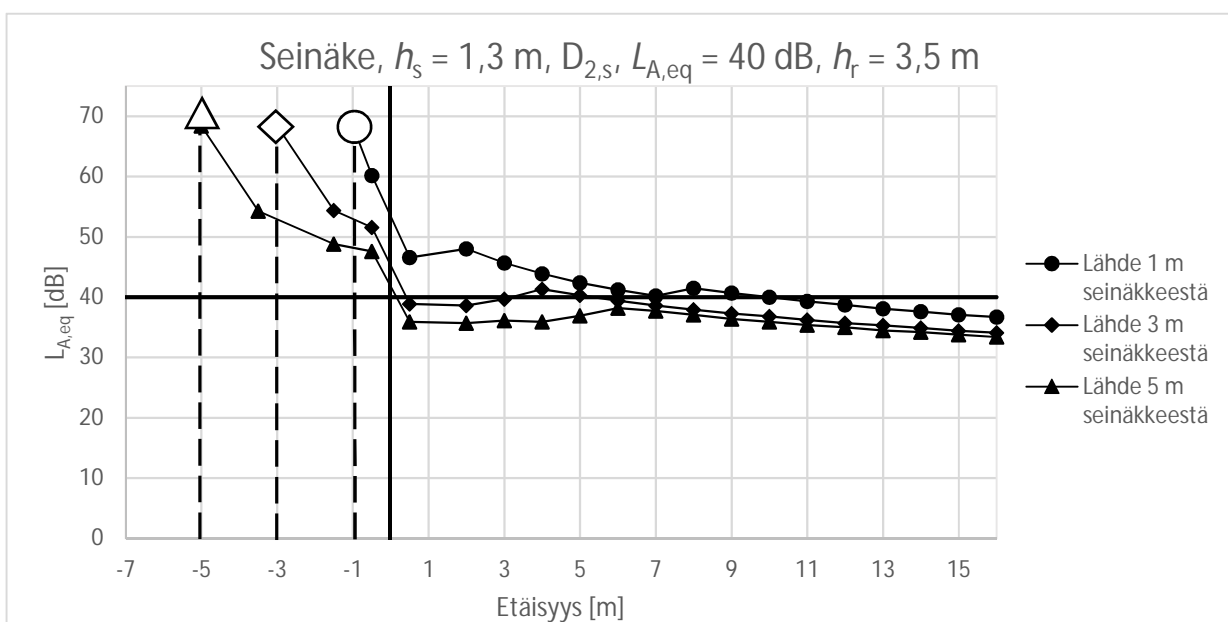
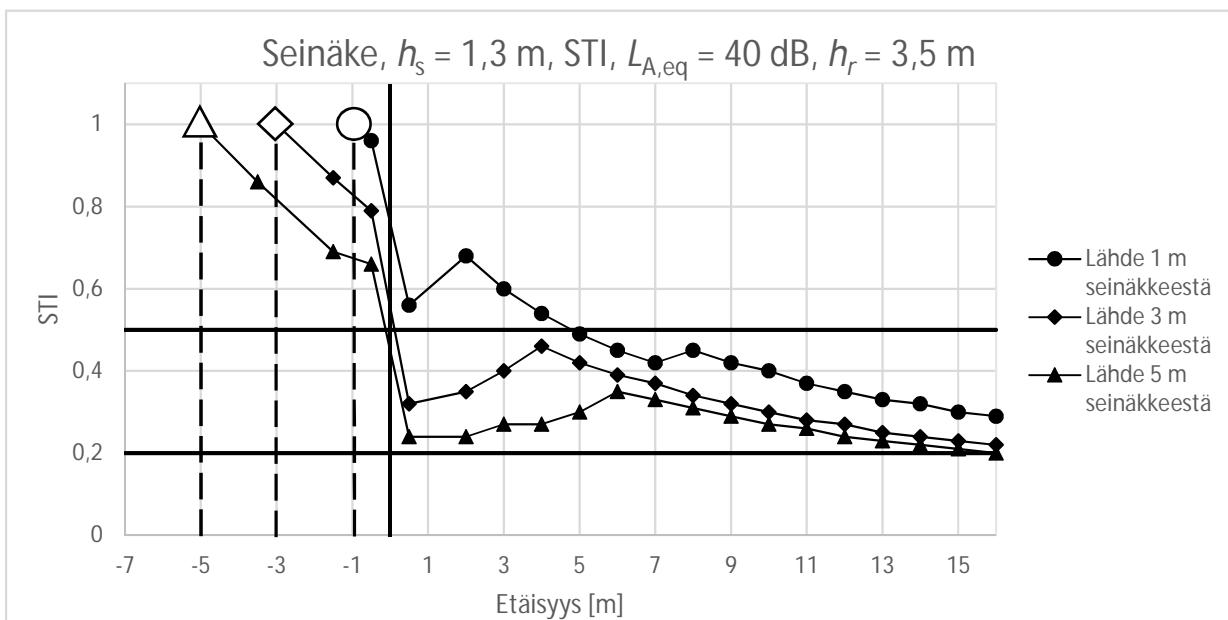
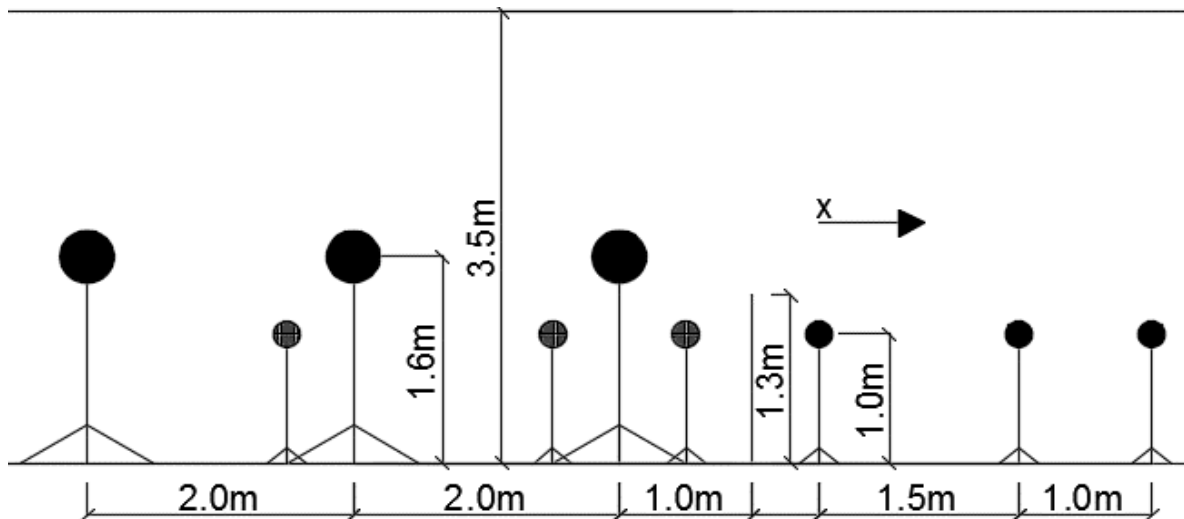
Äänilähteen korkeus $h_s = 1,0$ m

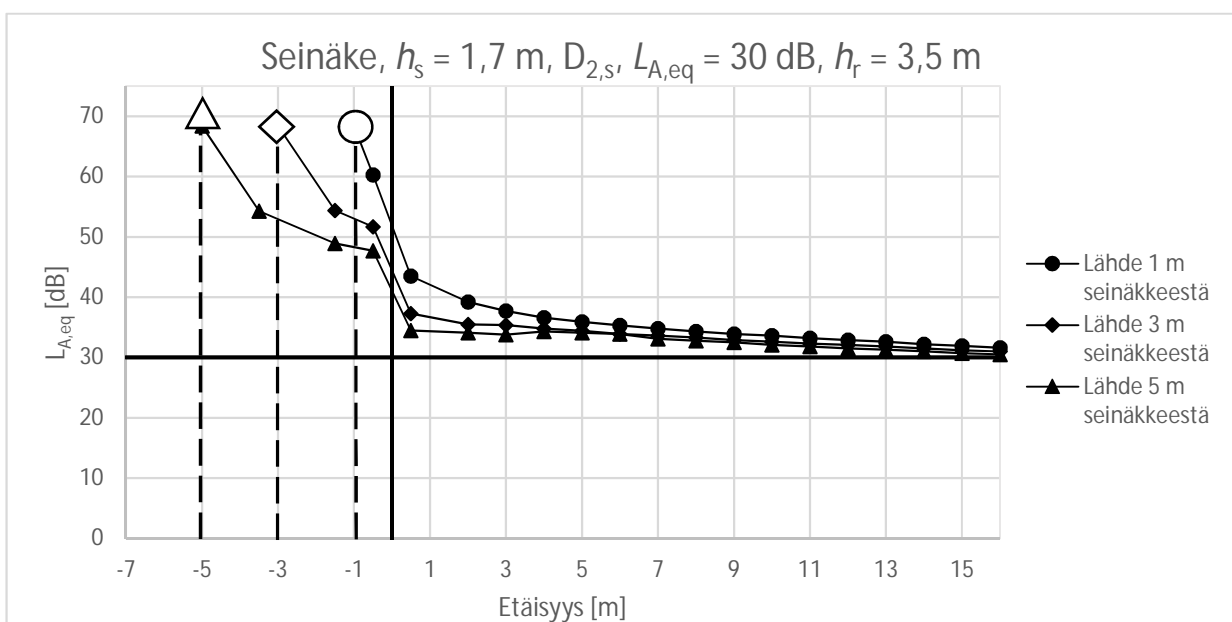
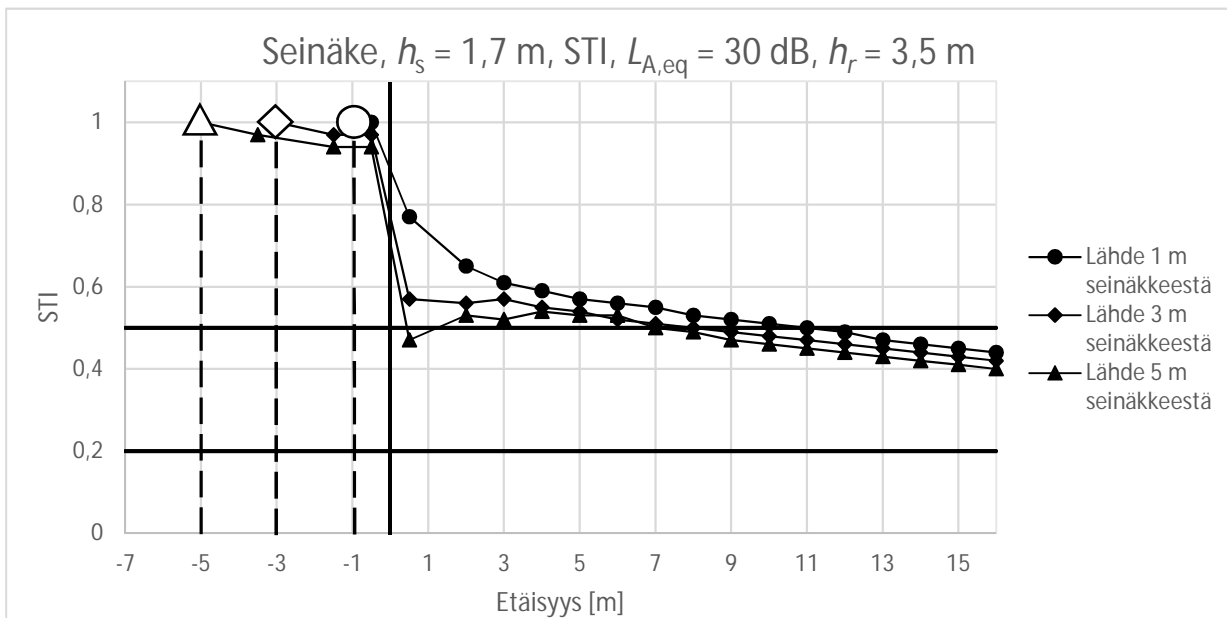
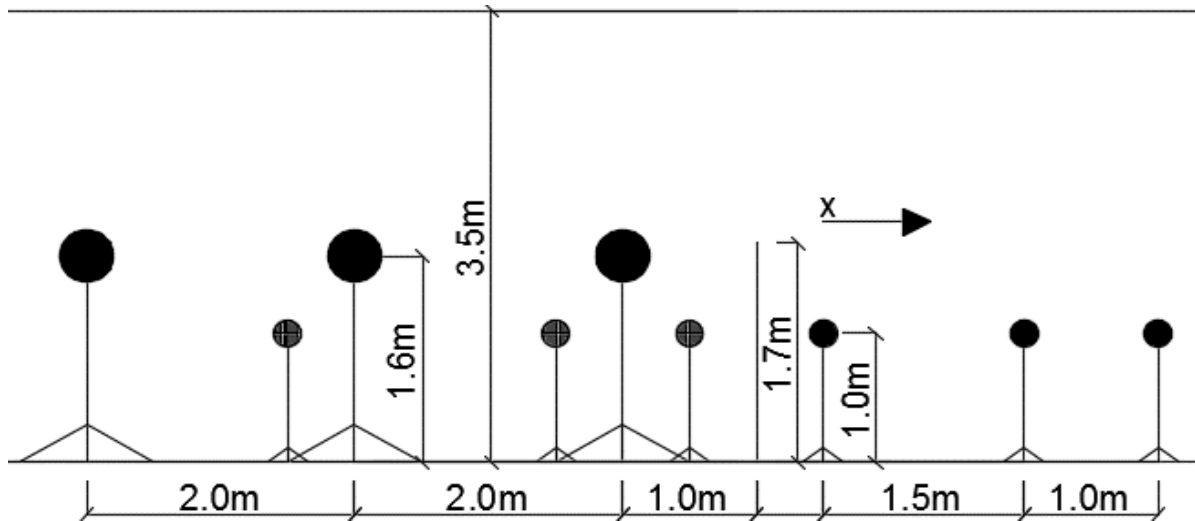


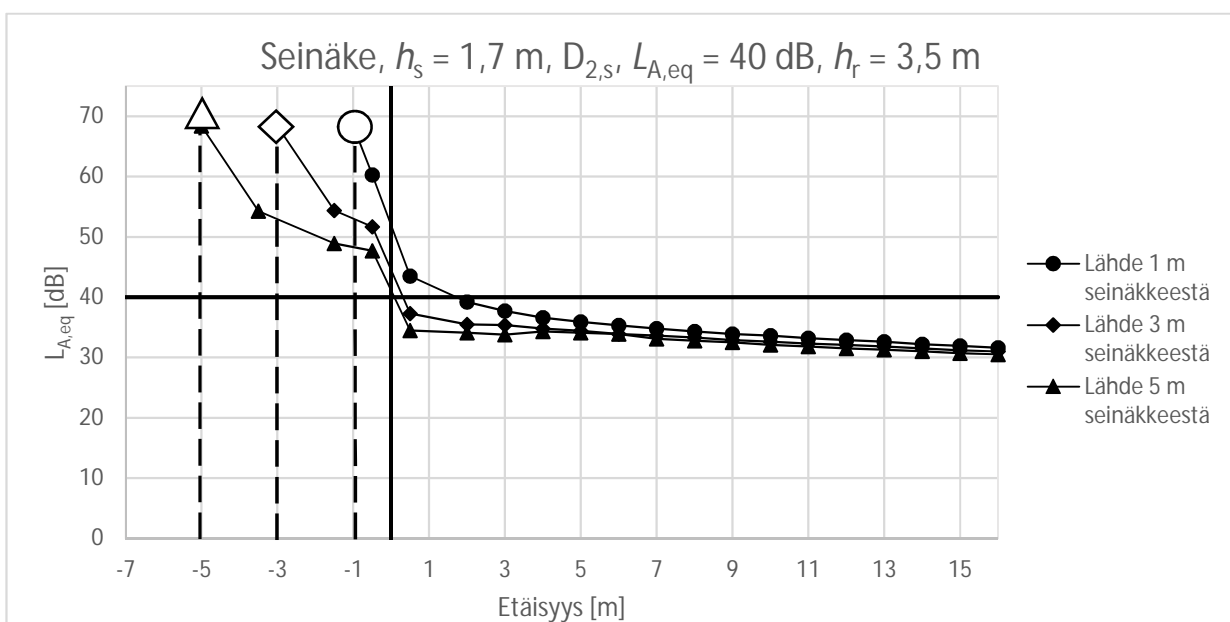
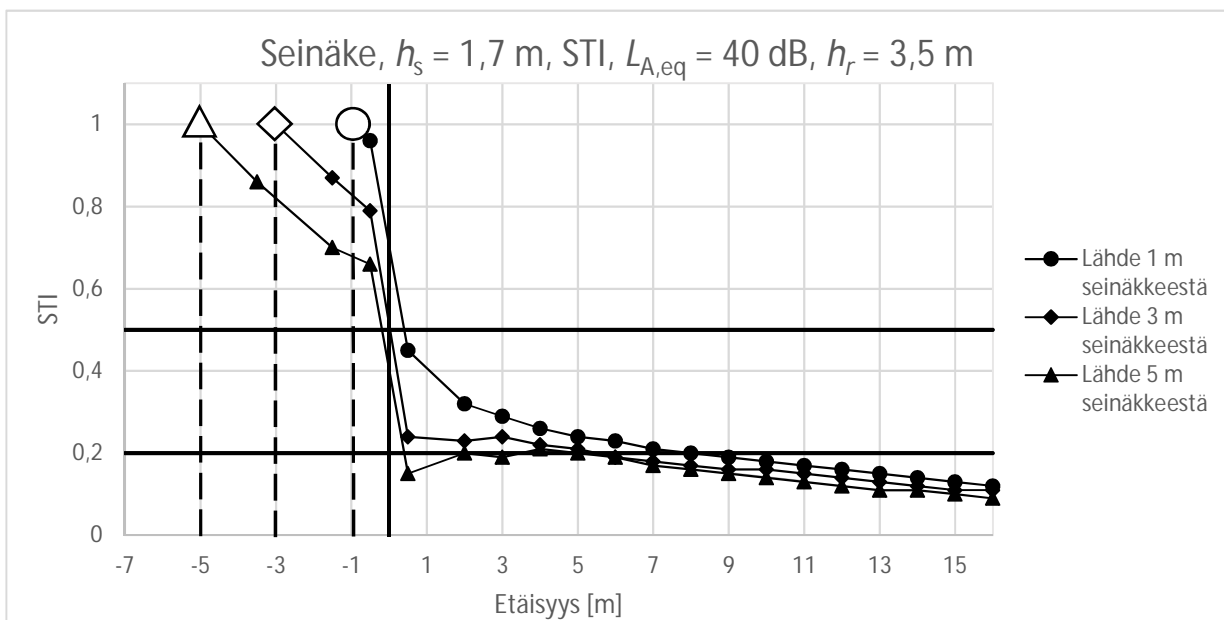
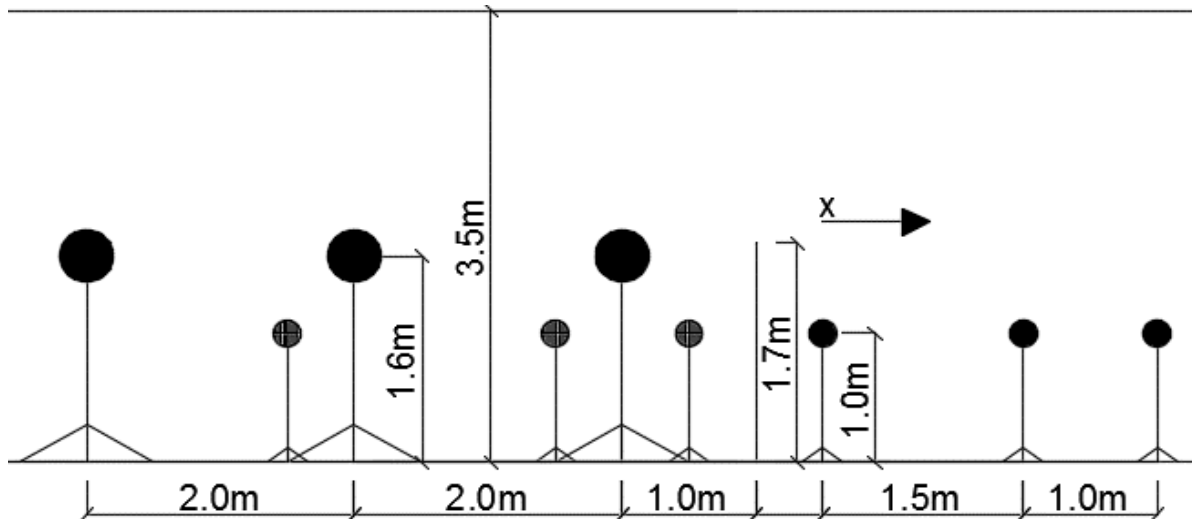
Äänilähteen korkeus $h_s = 1,0$ m

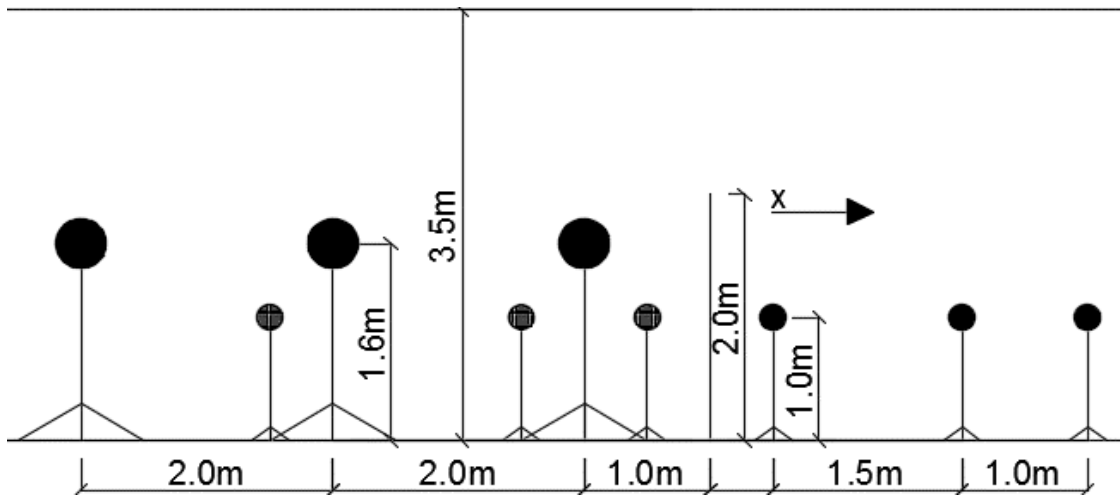




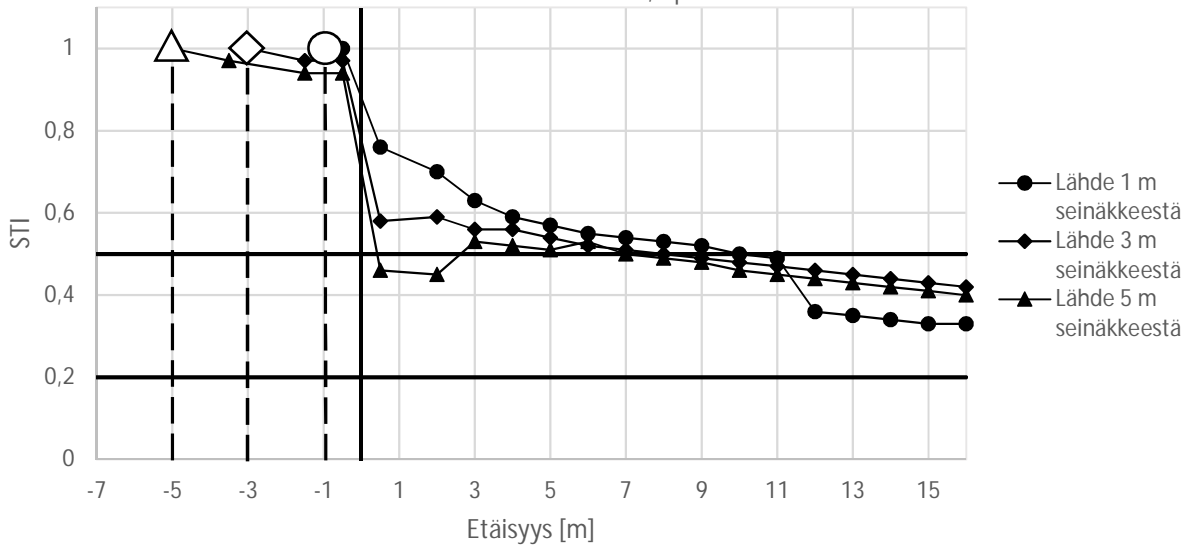




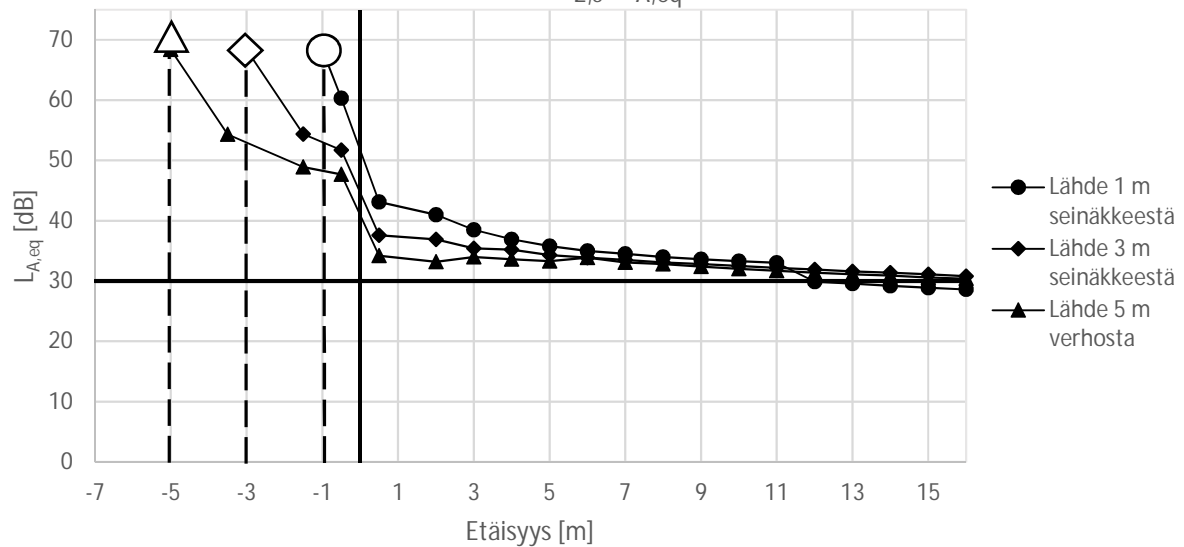


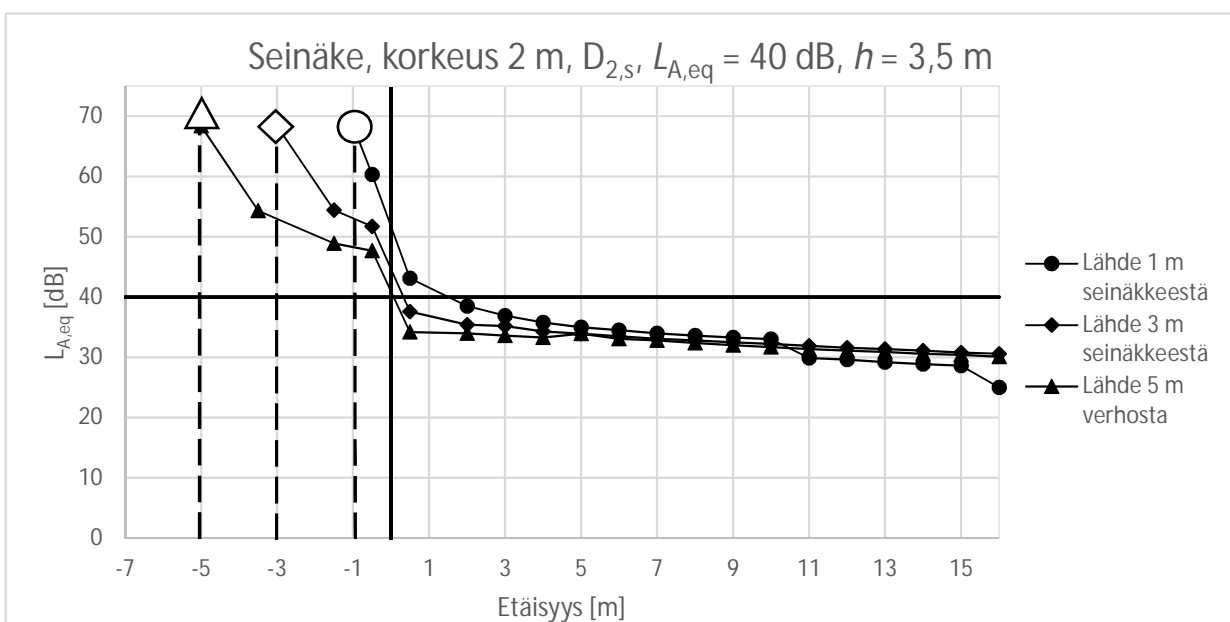
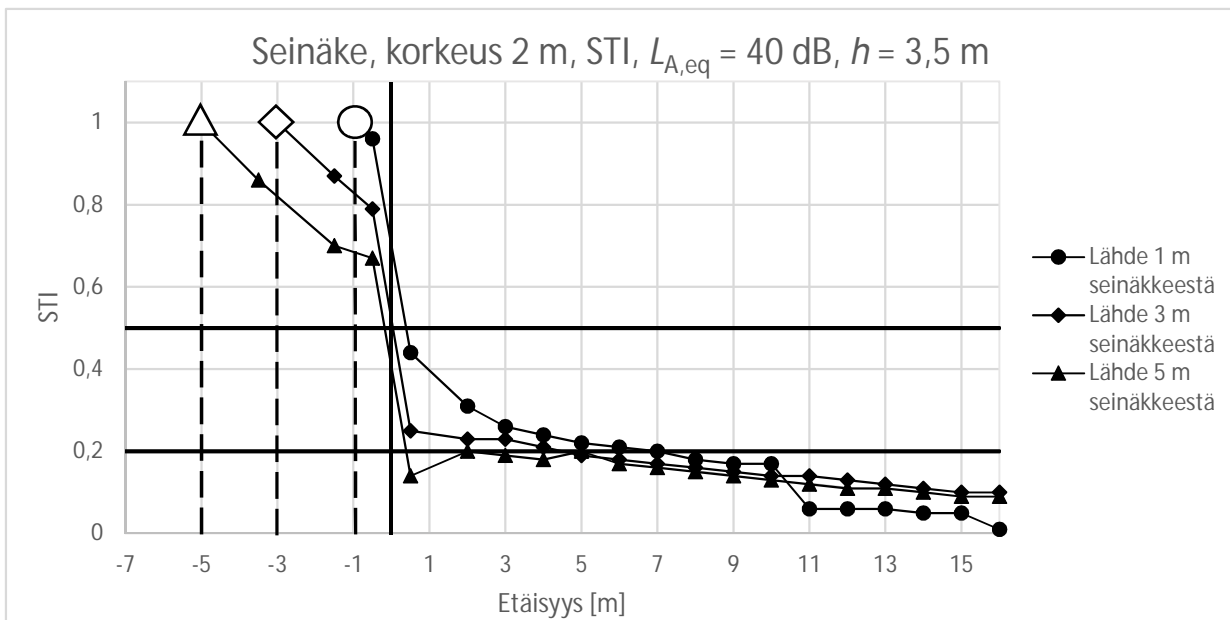
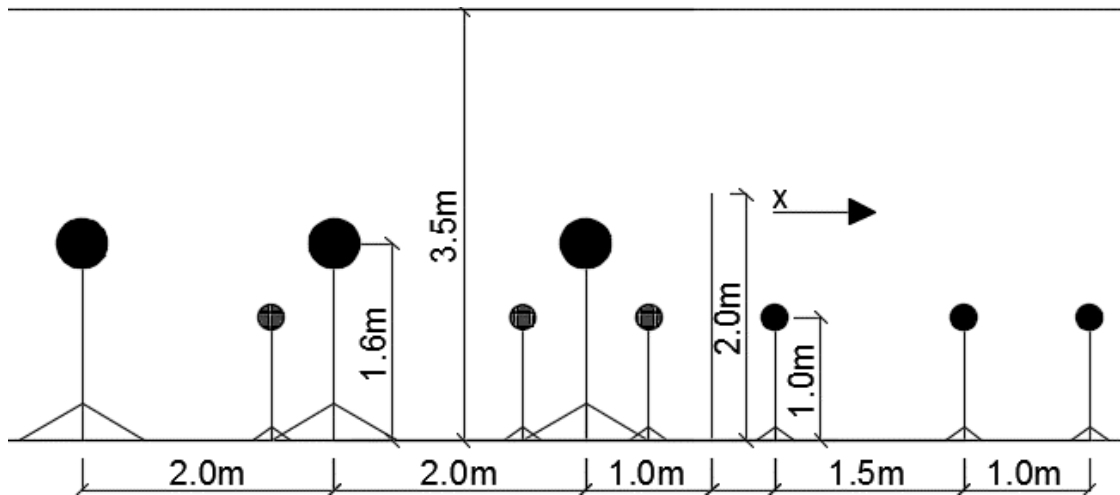


Seinäke, korkeus 2 m, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB, $h = 3,5$ m

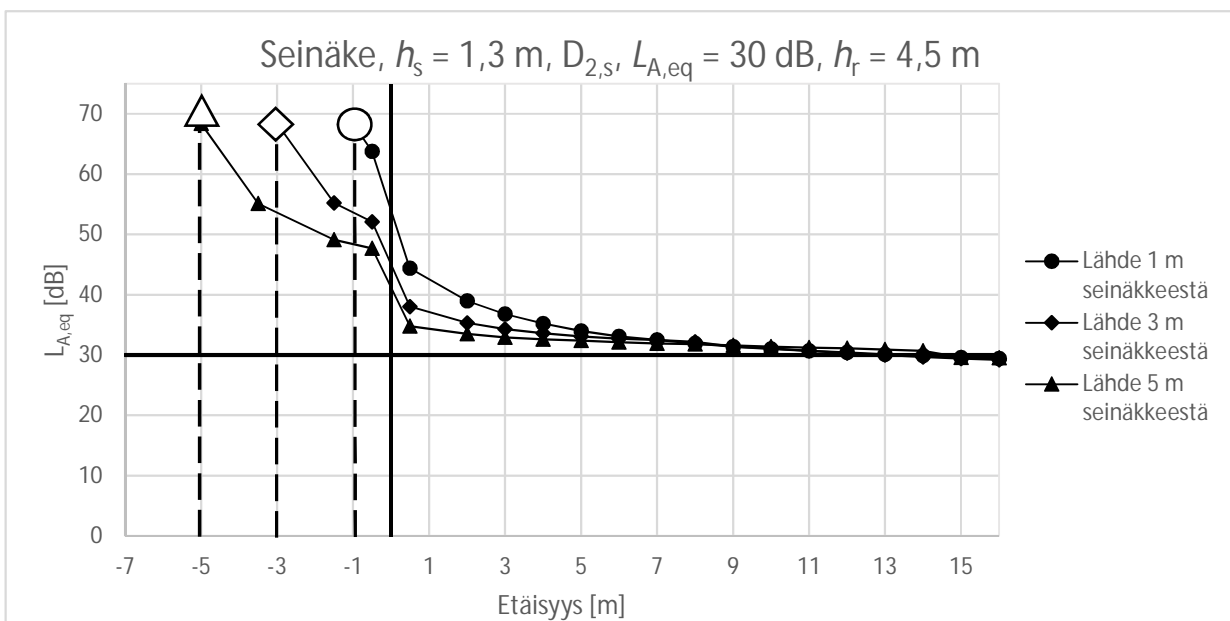
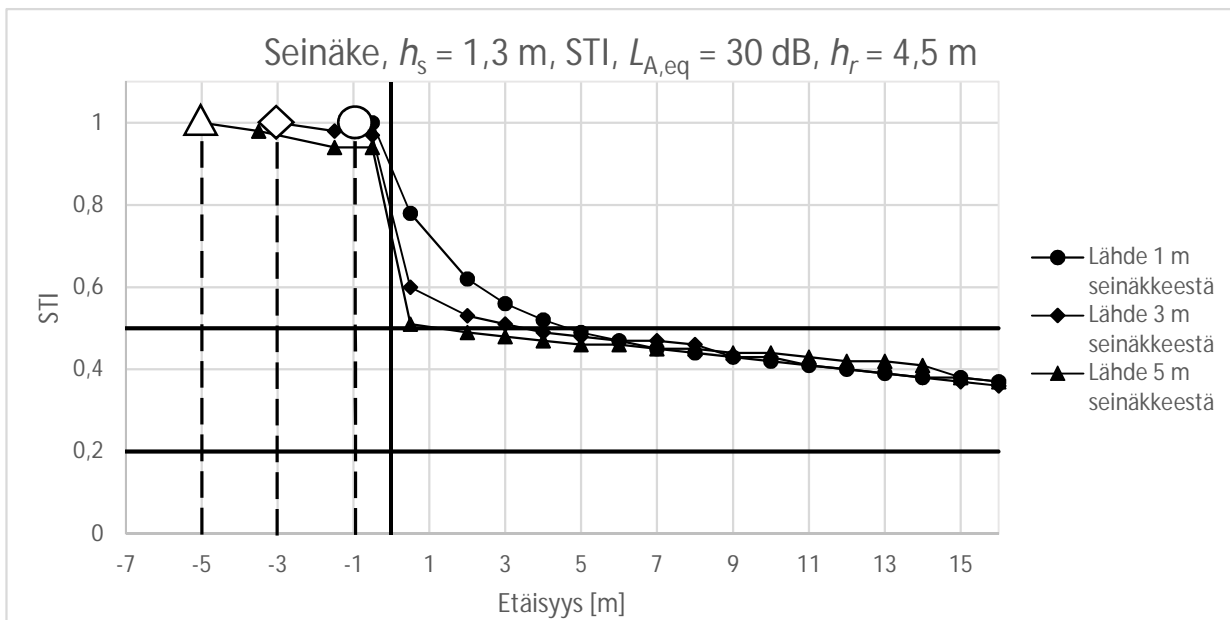
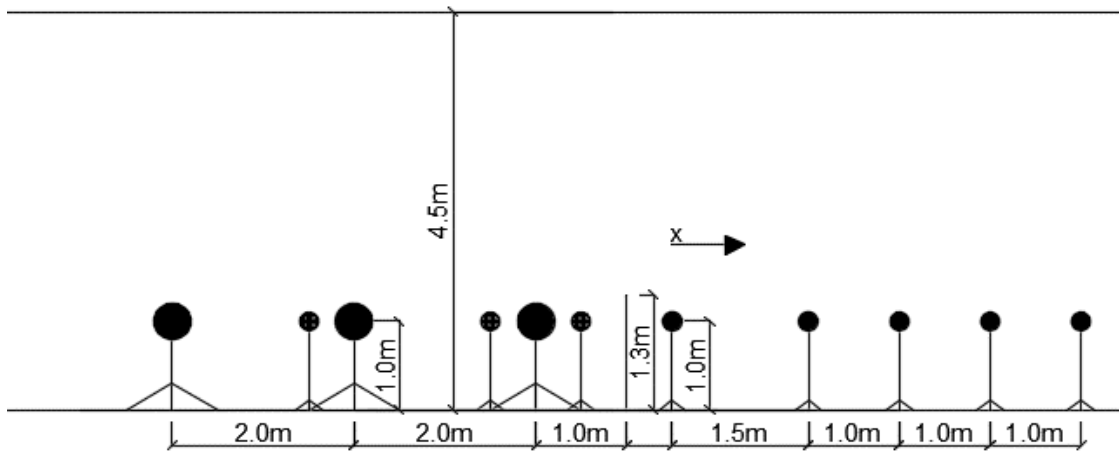


Seinäke, korkeus 2 m, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 30$ dB, $h = 3,5$ m

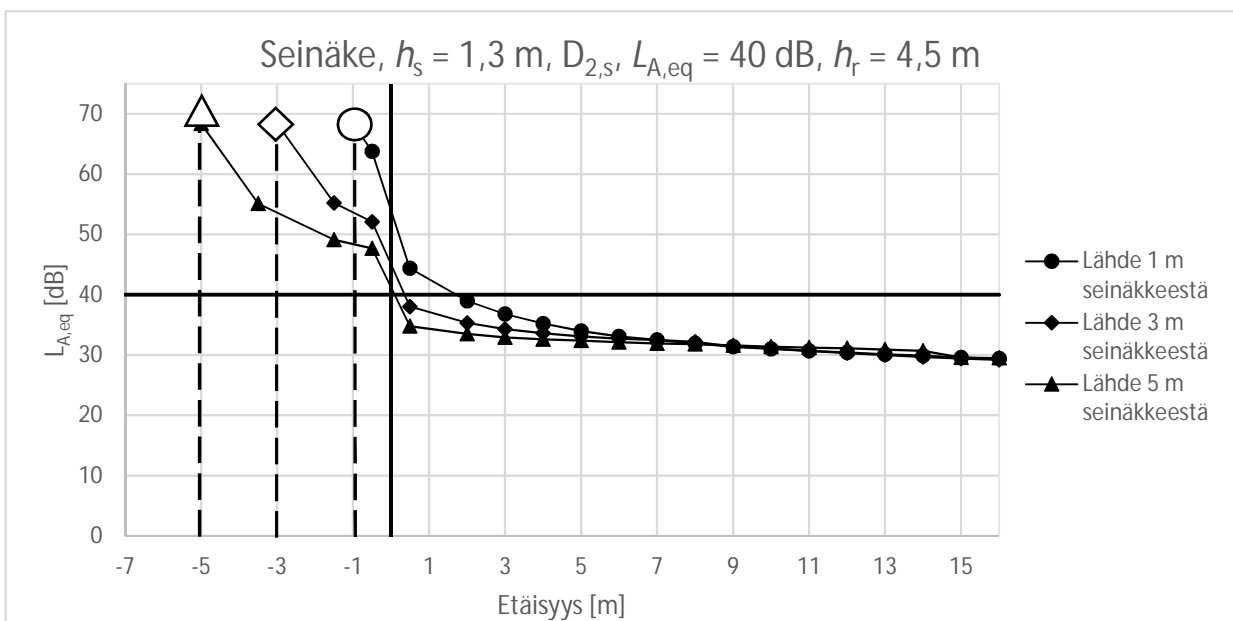
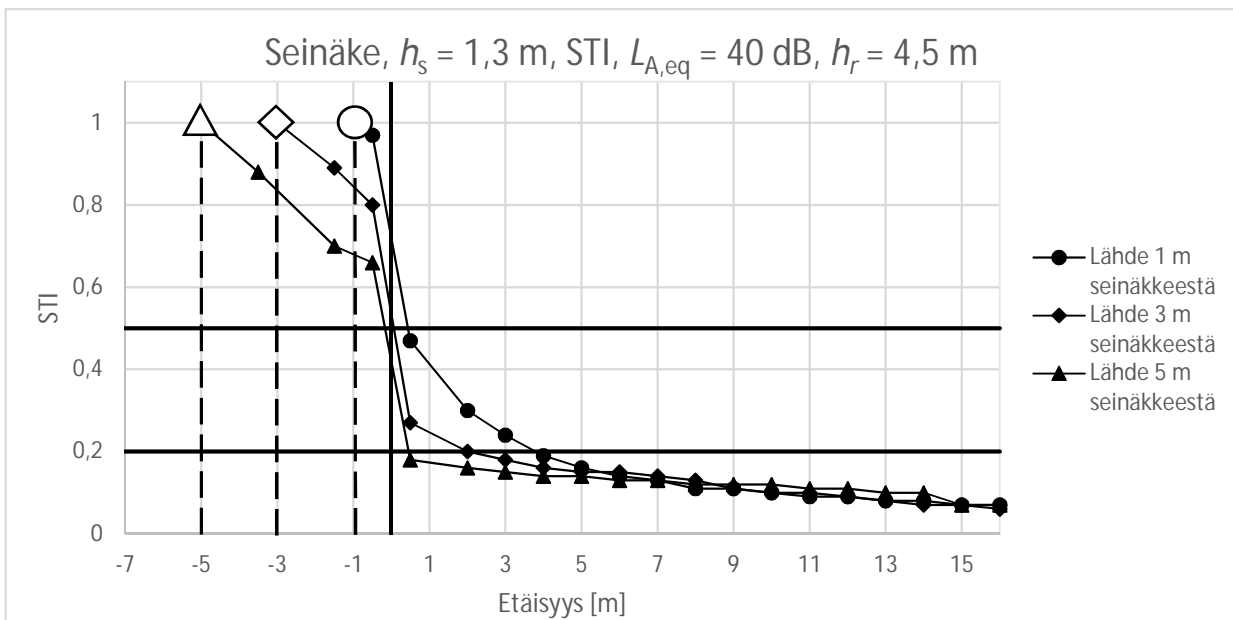
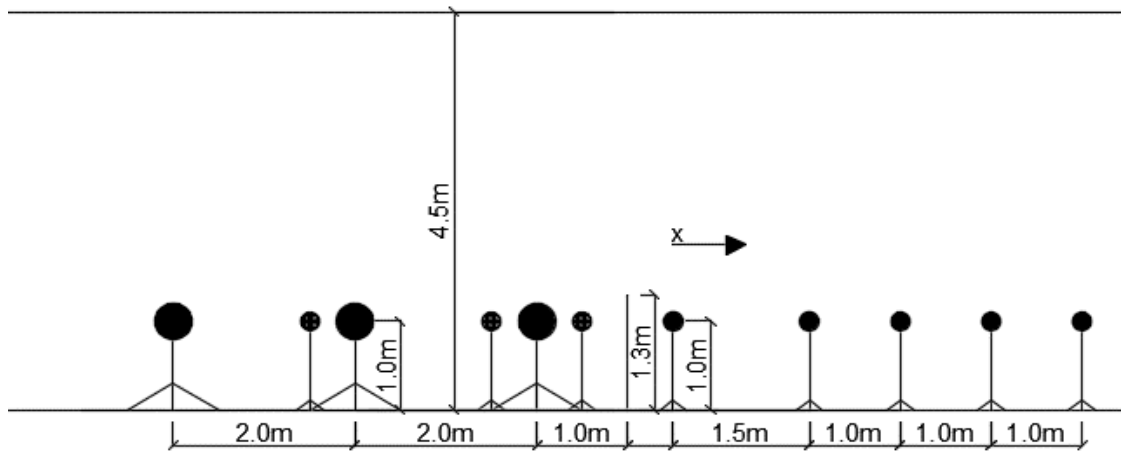


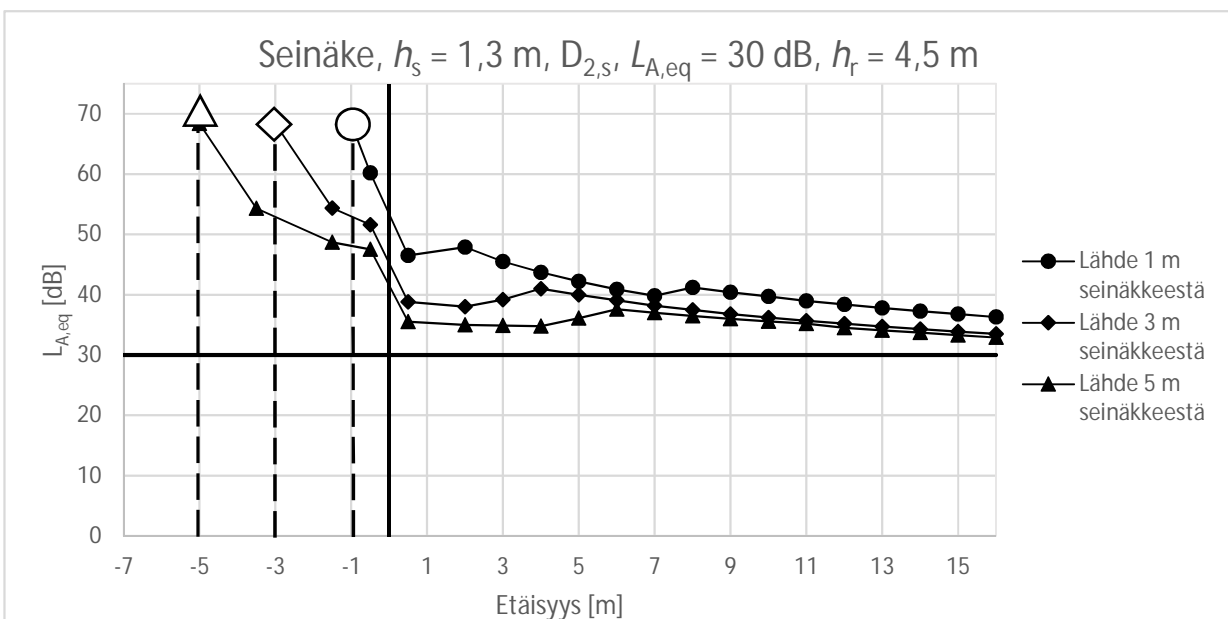
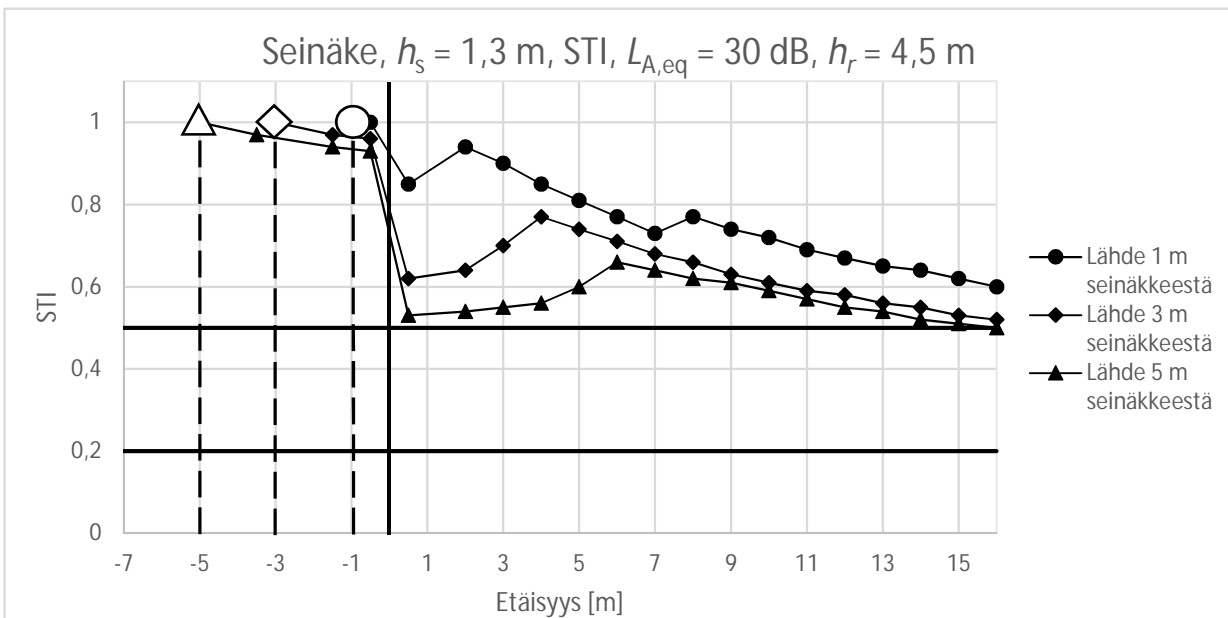
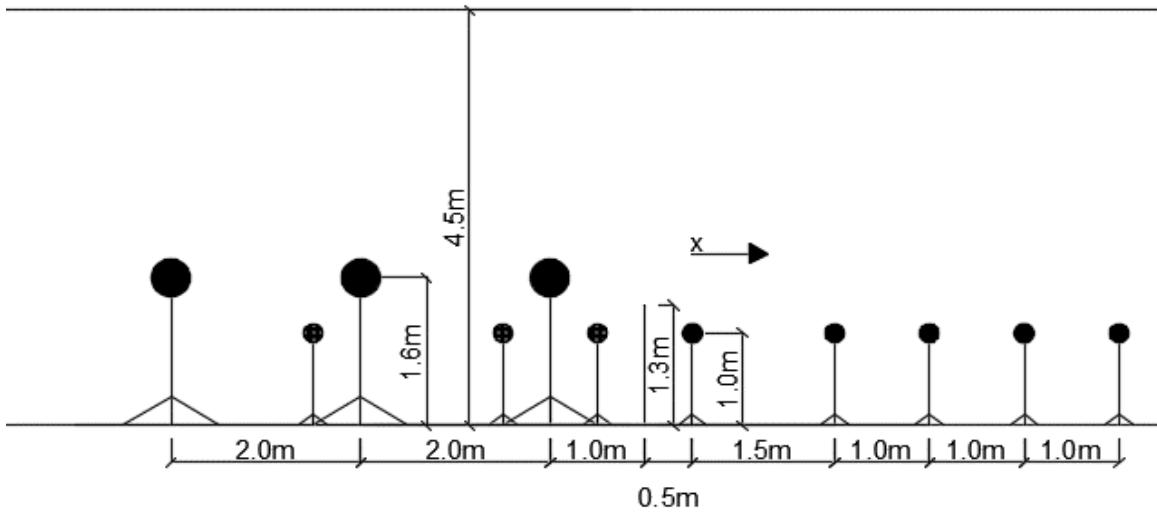


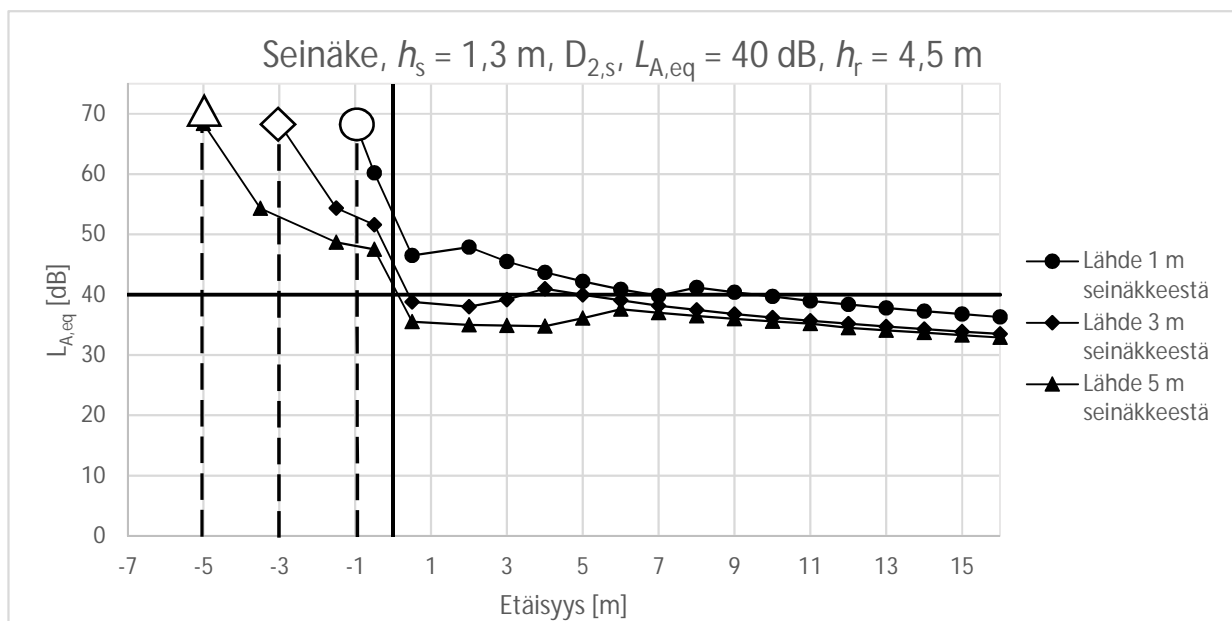
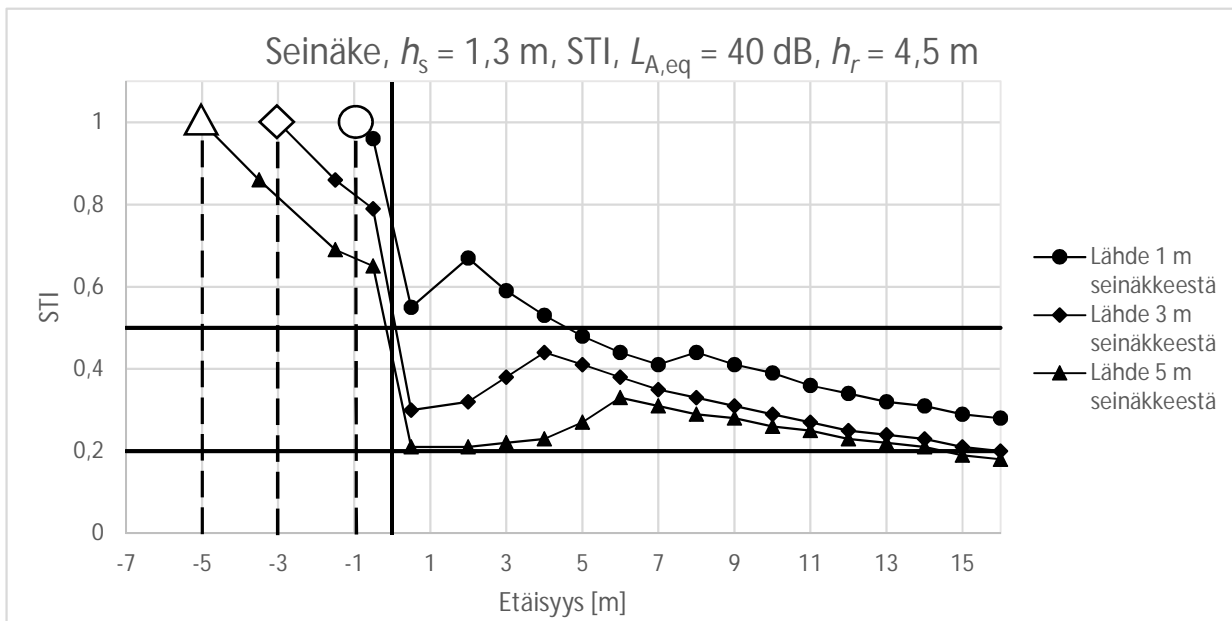
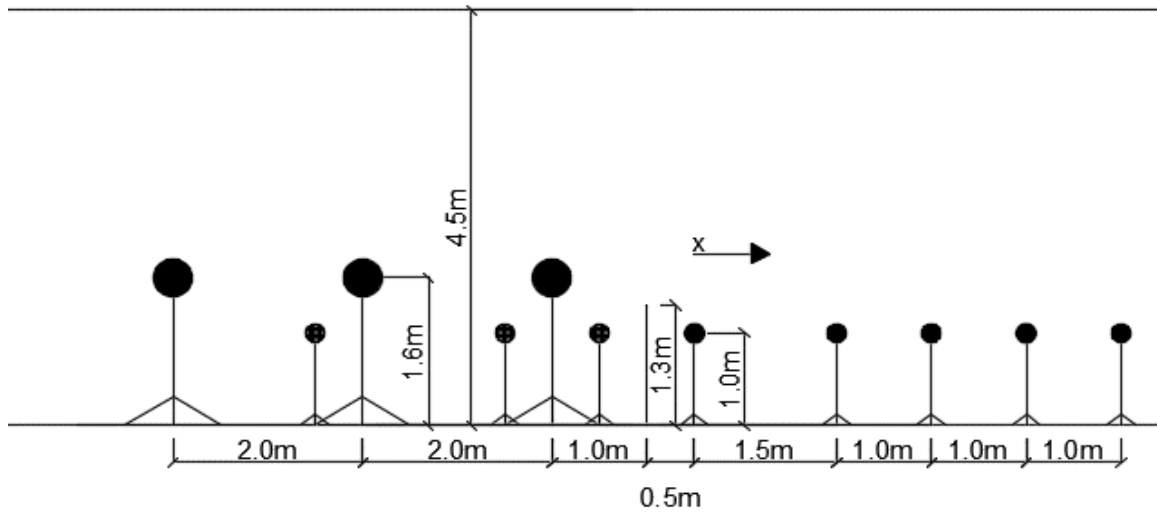
Äänilähteen korkeus $h_s = 1,0$ m

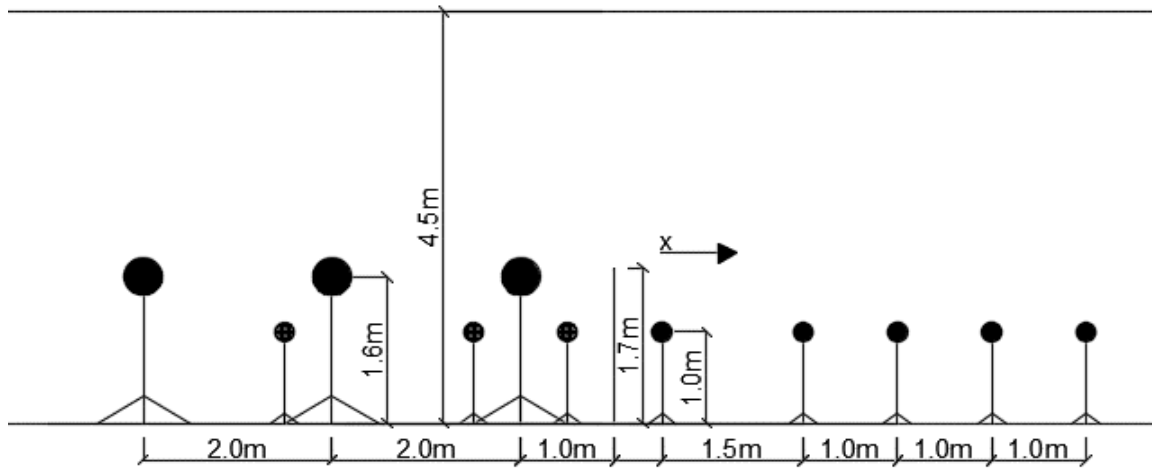


Äänilähteen korkeus $h_s = 1,0$ m

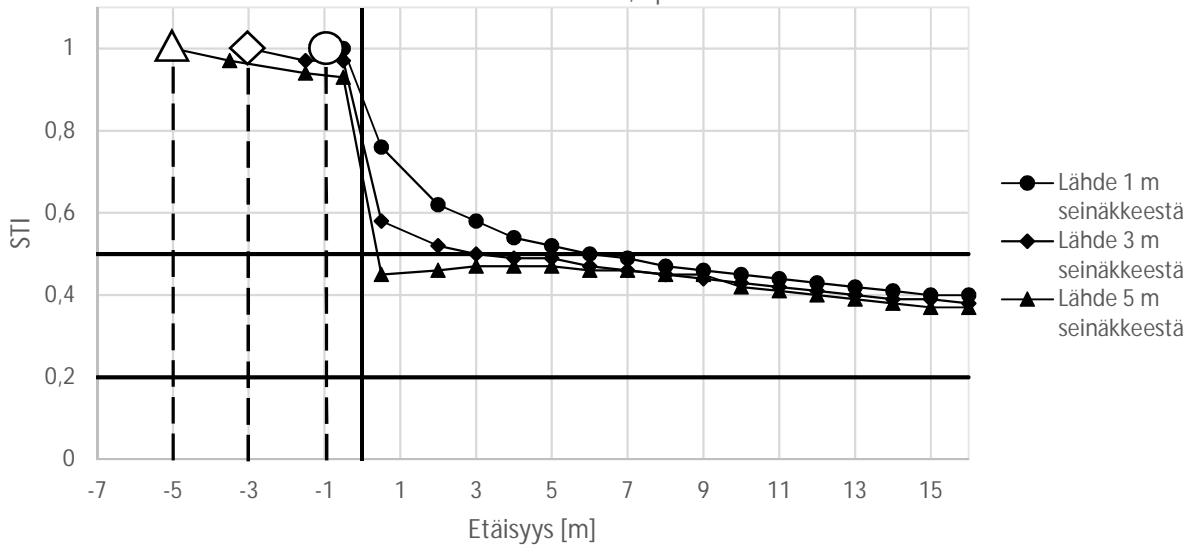




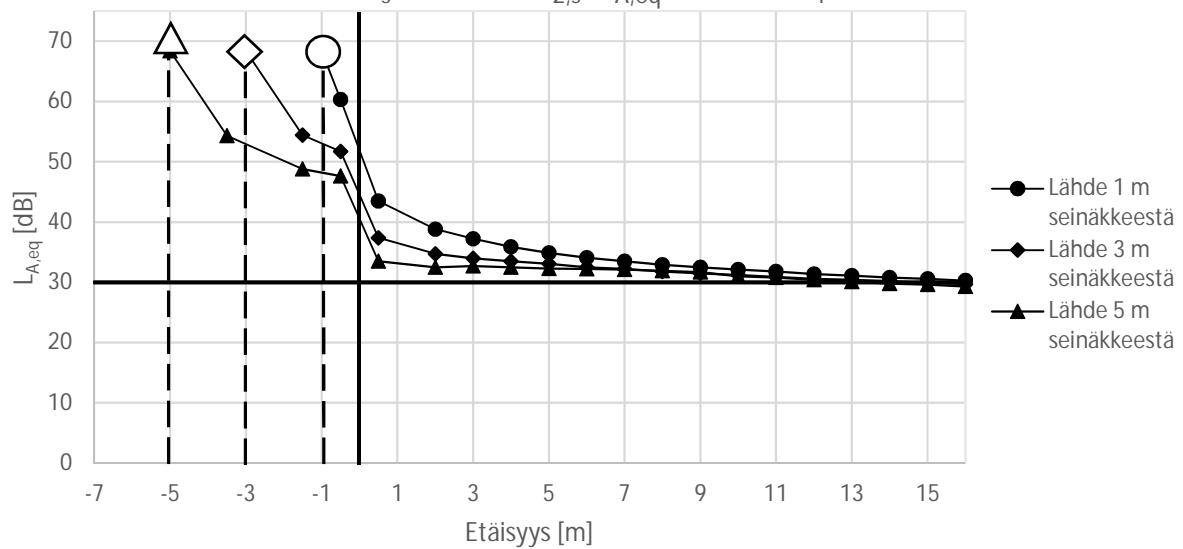


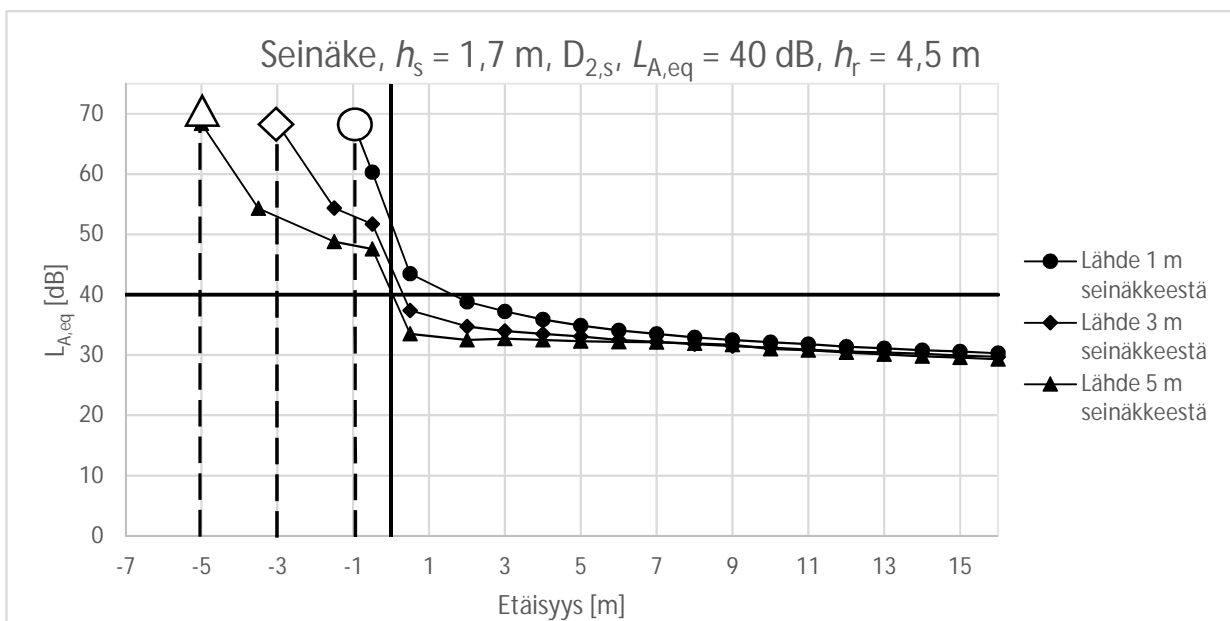
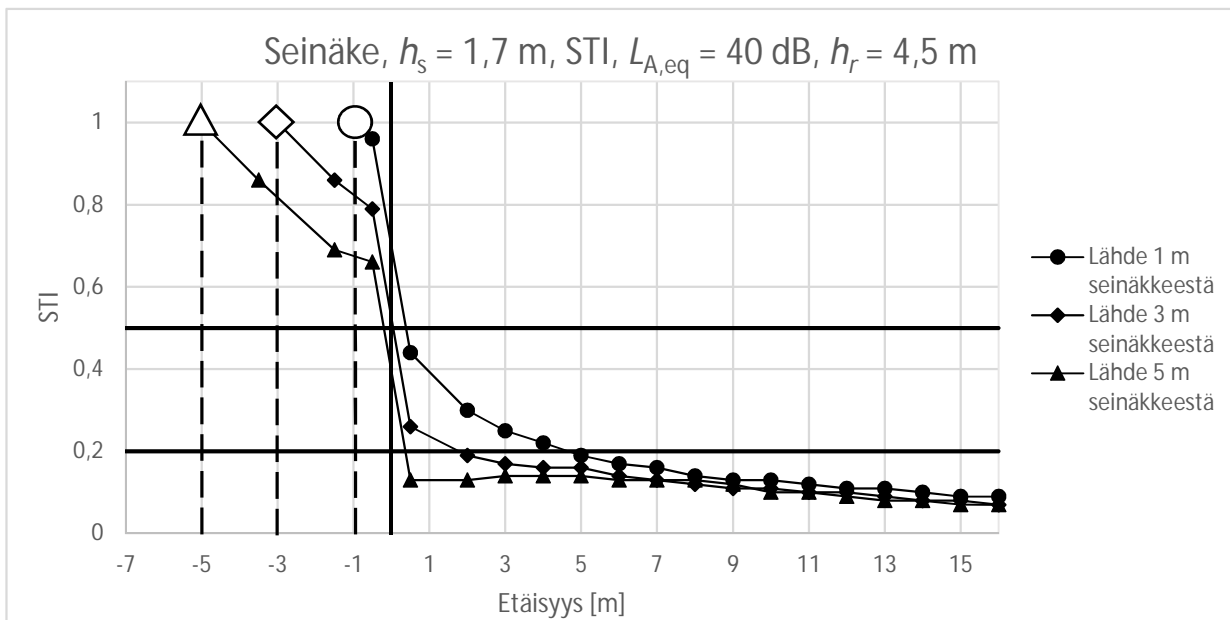
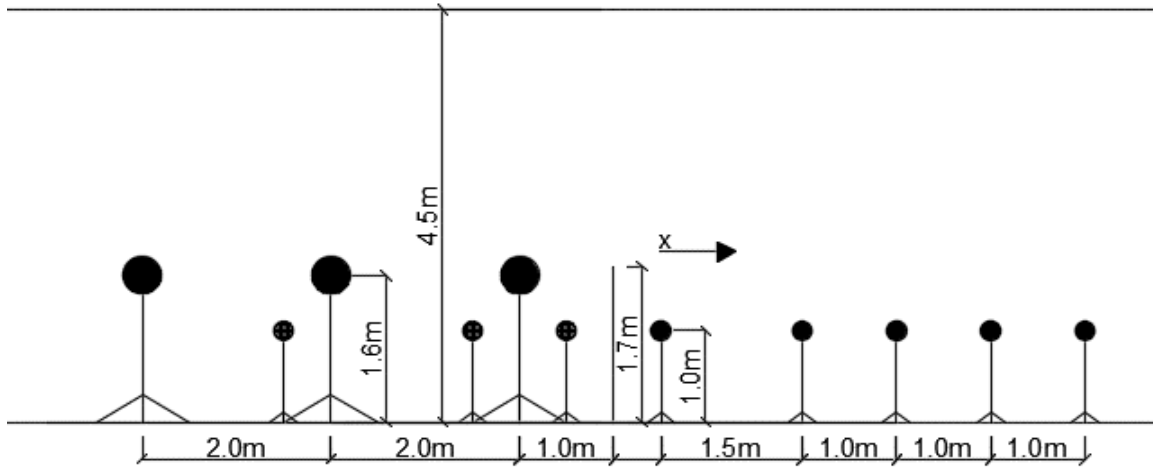


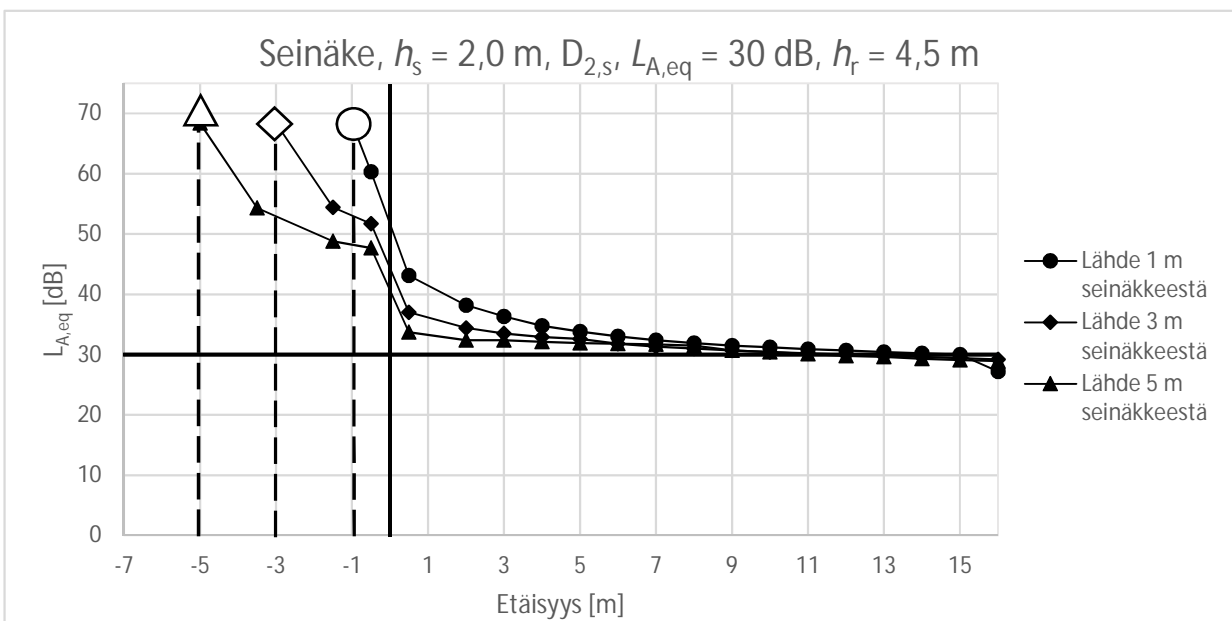
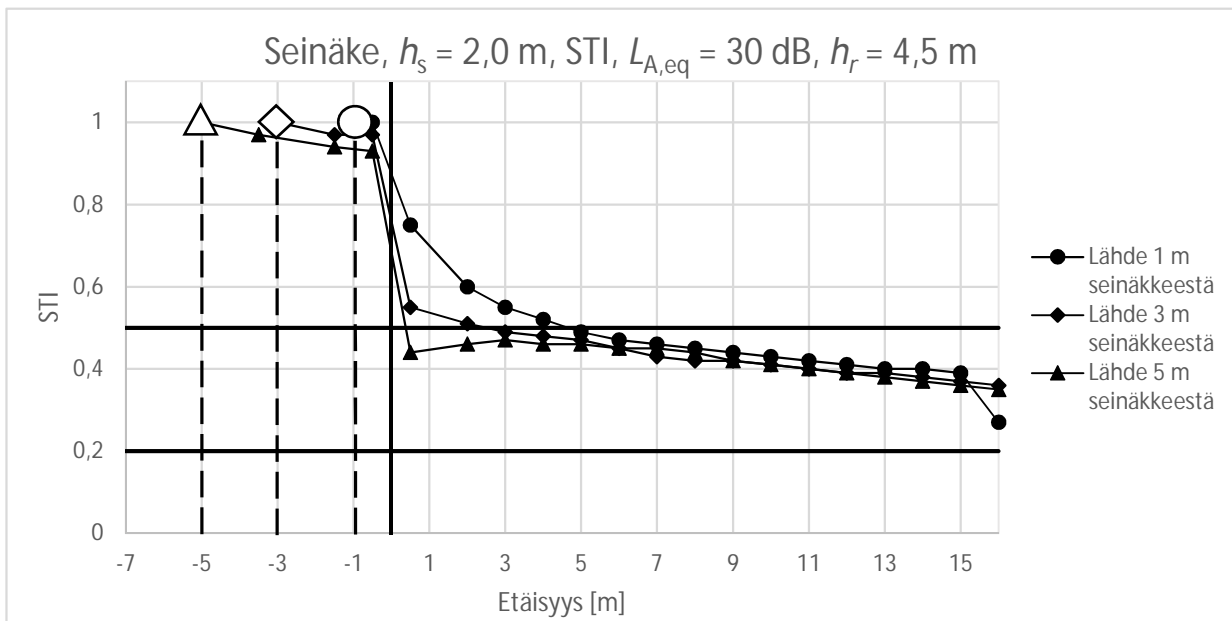
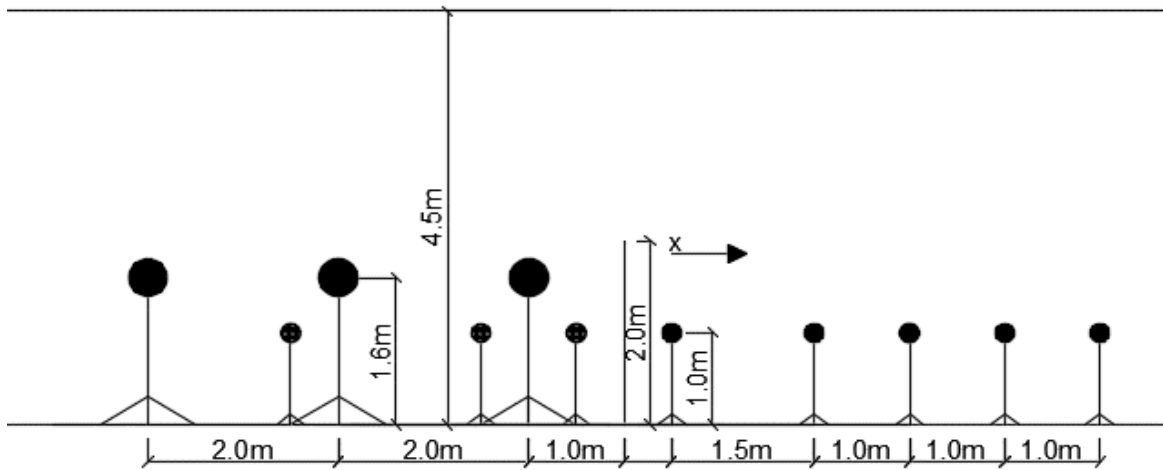
Seinäke, $h_s = 1,7$ m, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB, $h_r = 4,5$ m

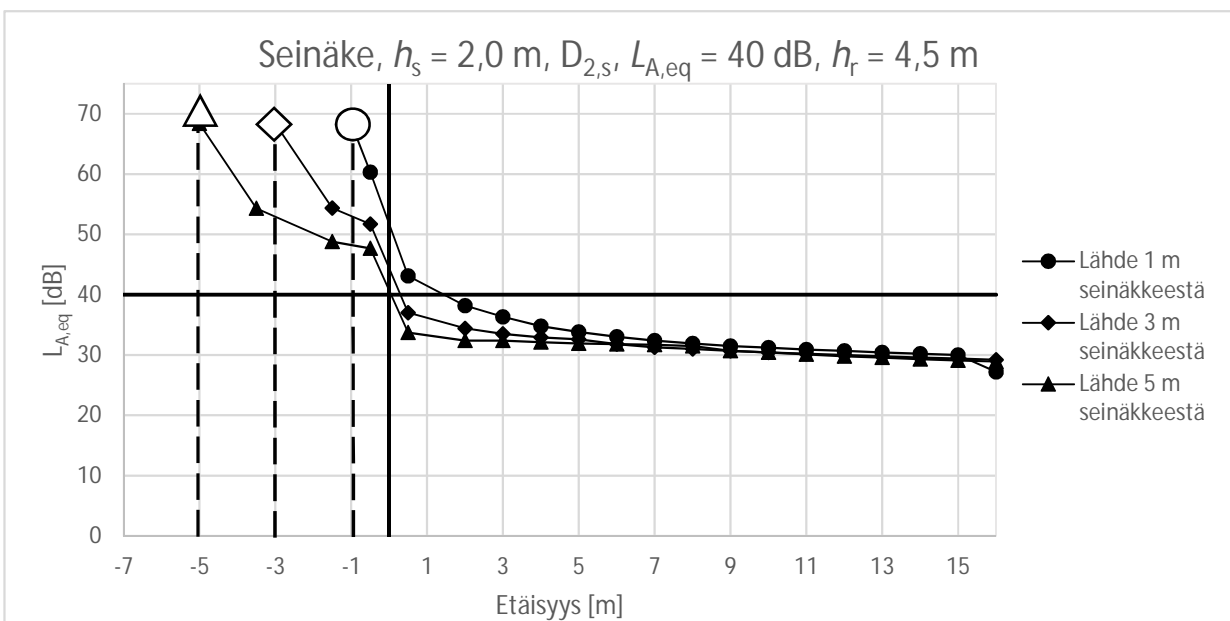
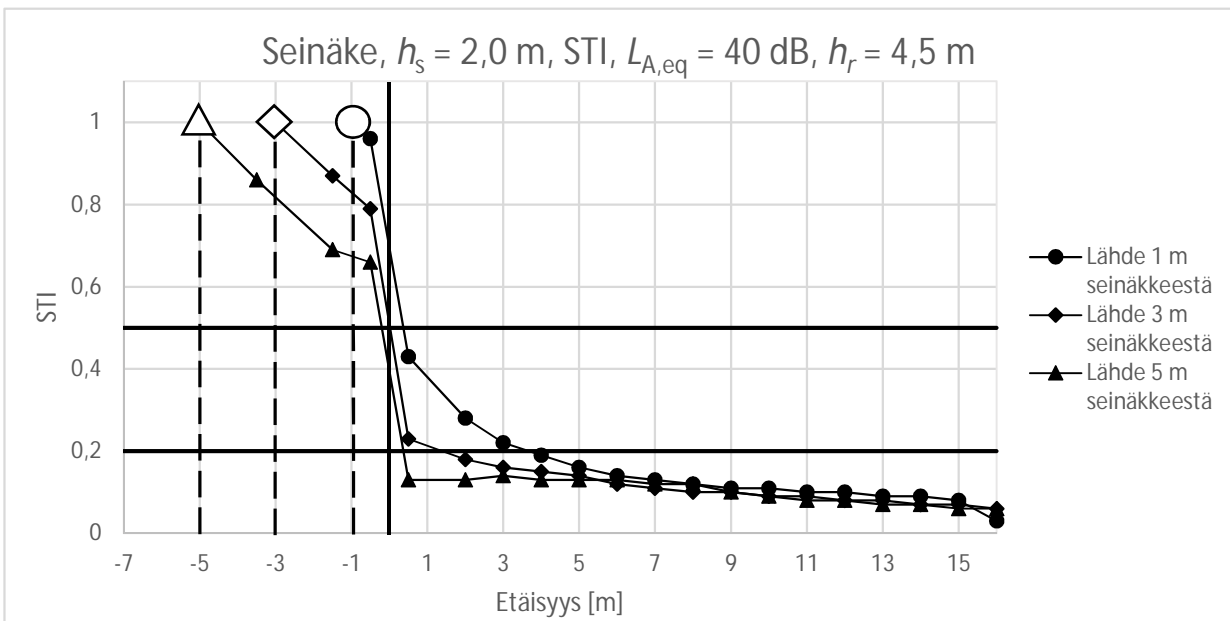
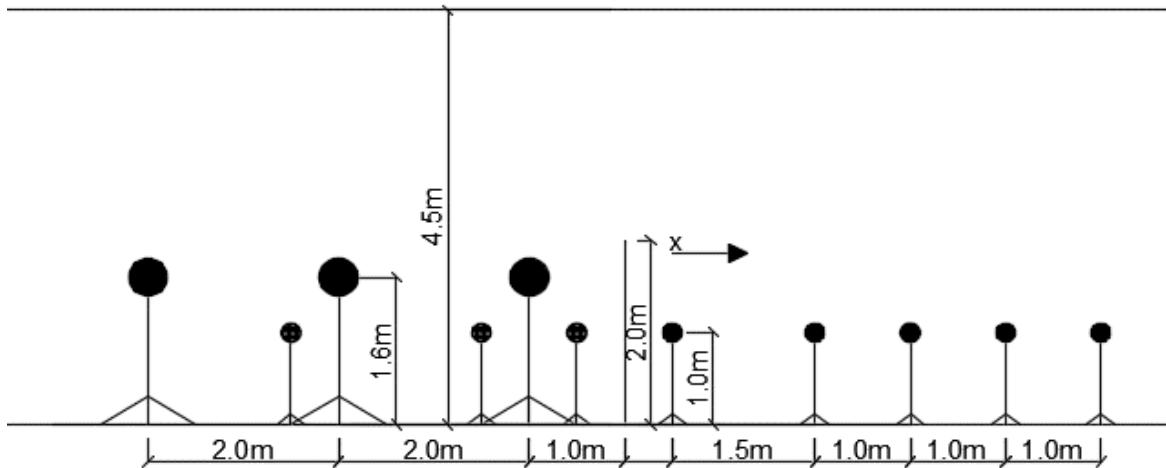


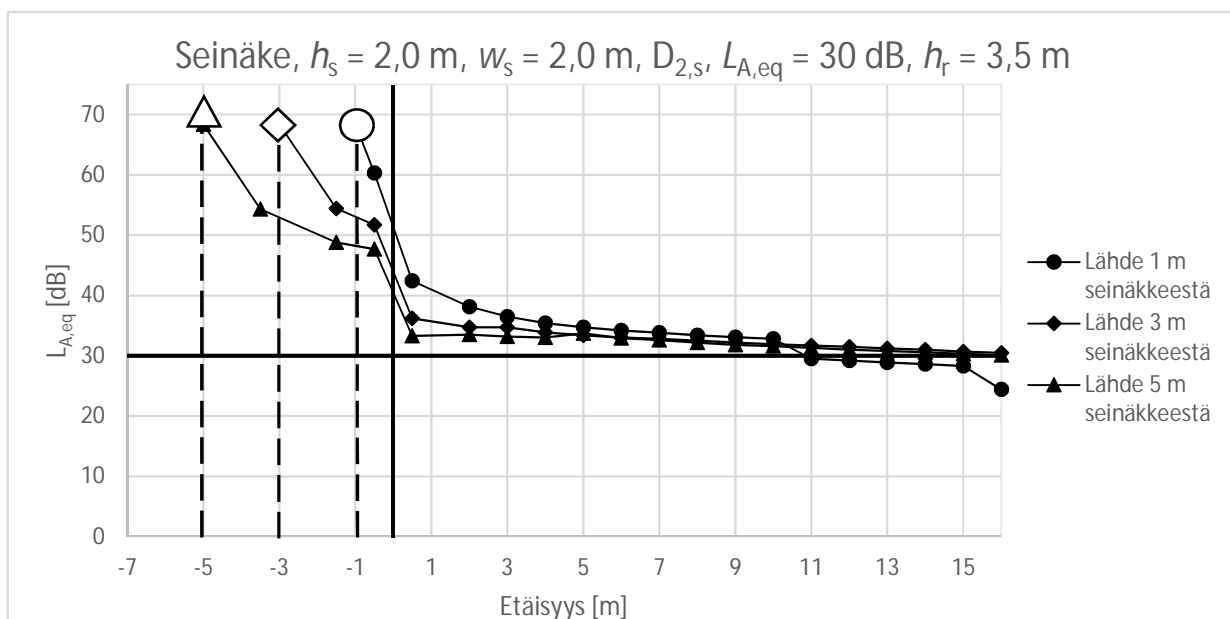
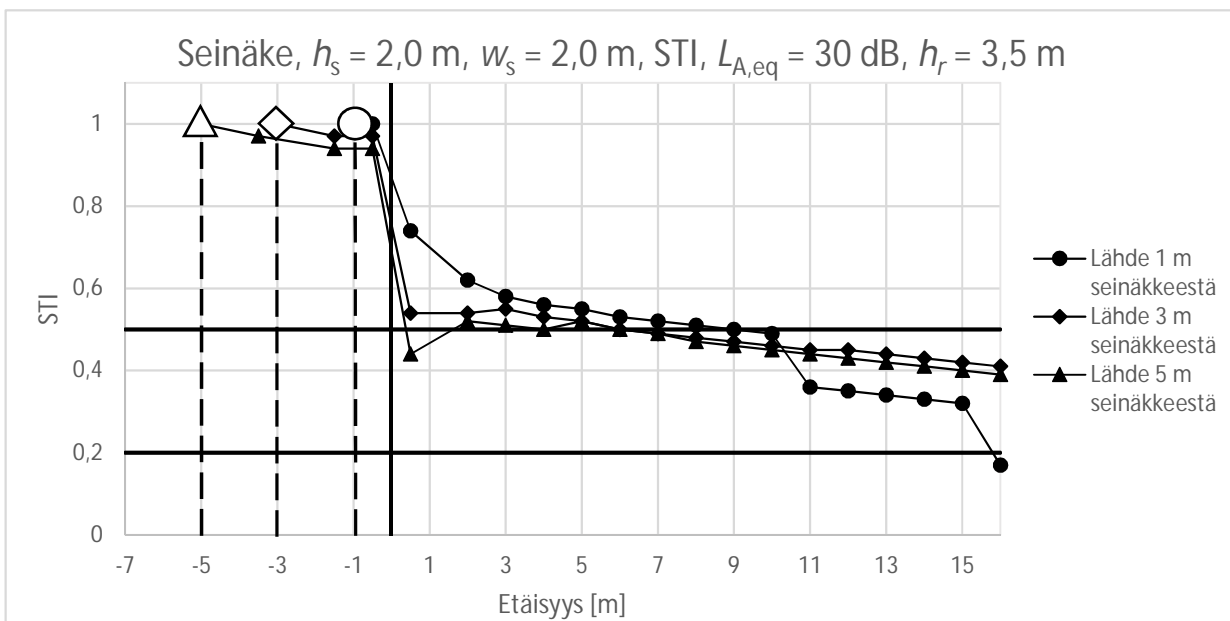
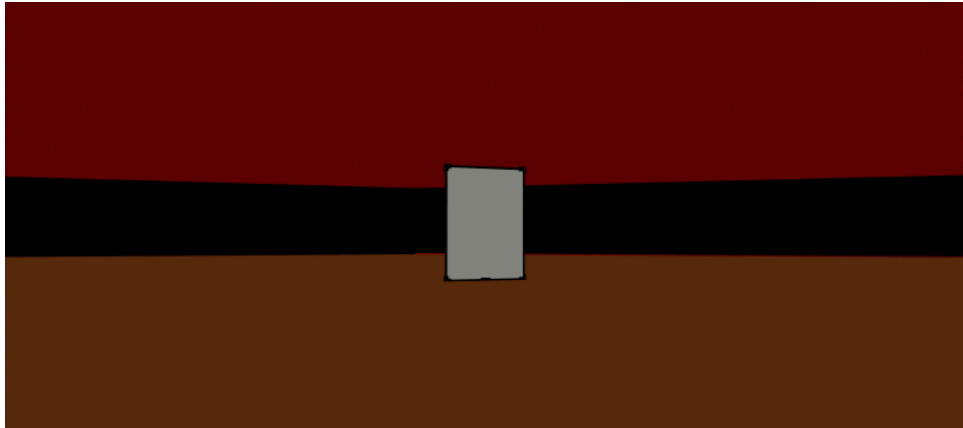
Seinäke, $h_s = 1,7$ m, $D_{2,S}$, $L_{A,eq} = 30$ dB, $h_r = 4,5$ m



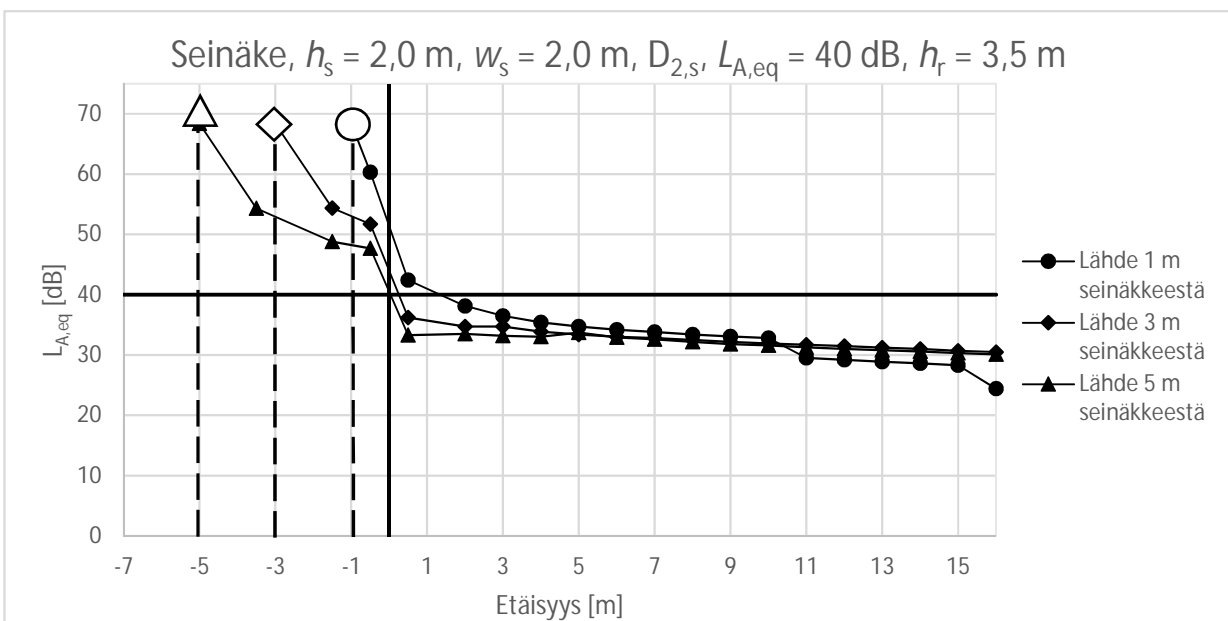
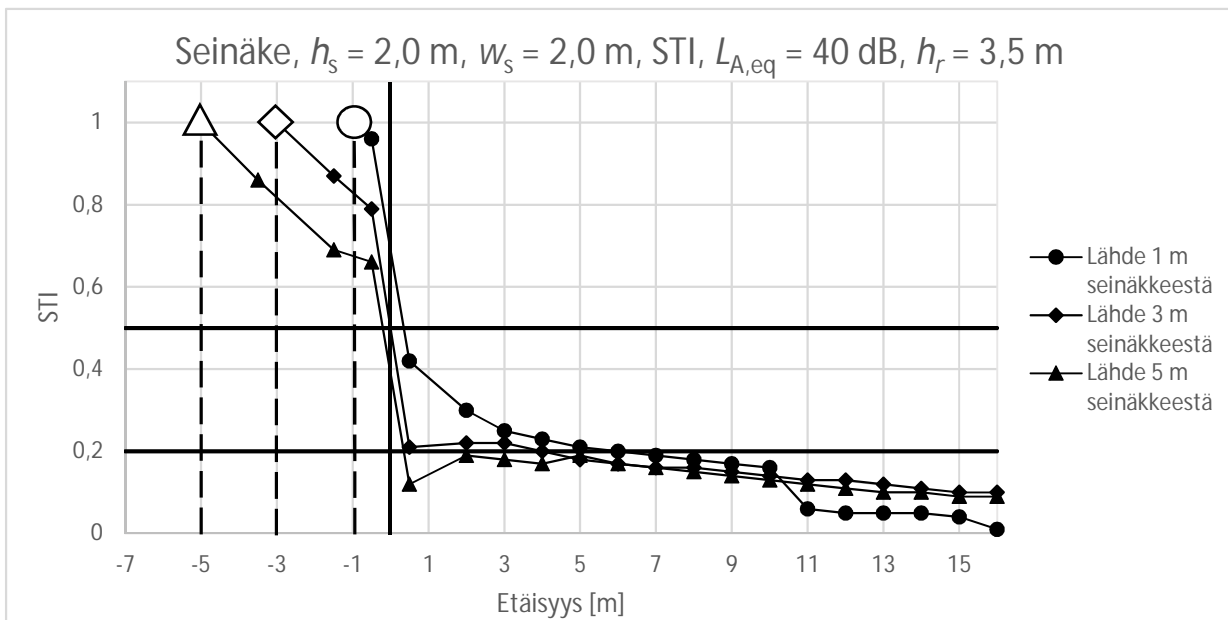
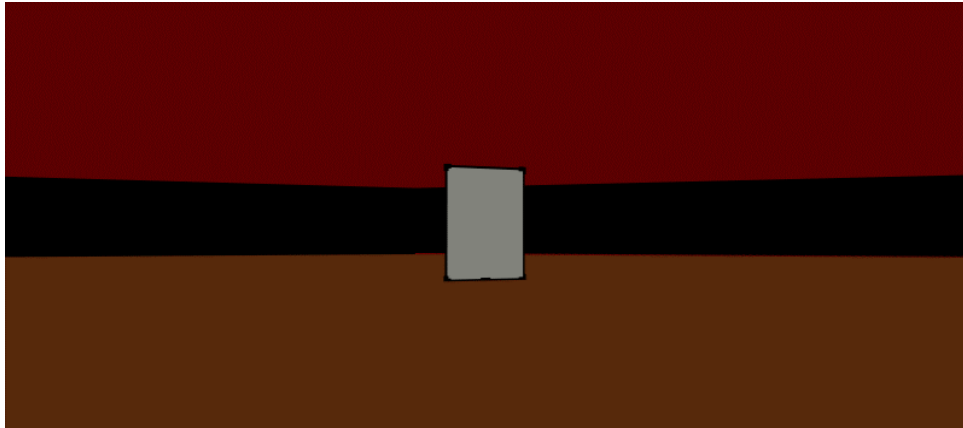


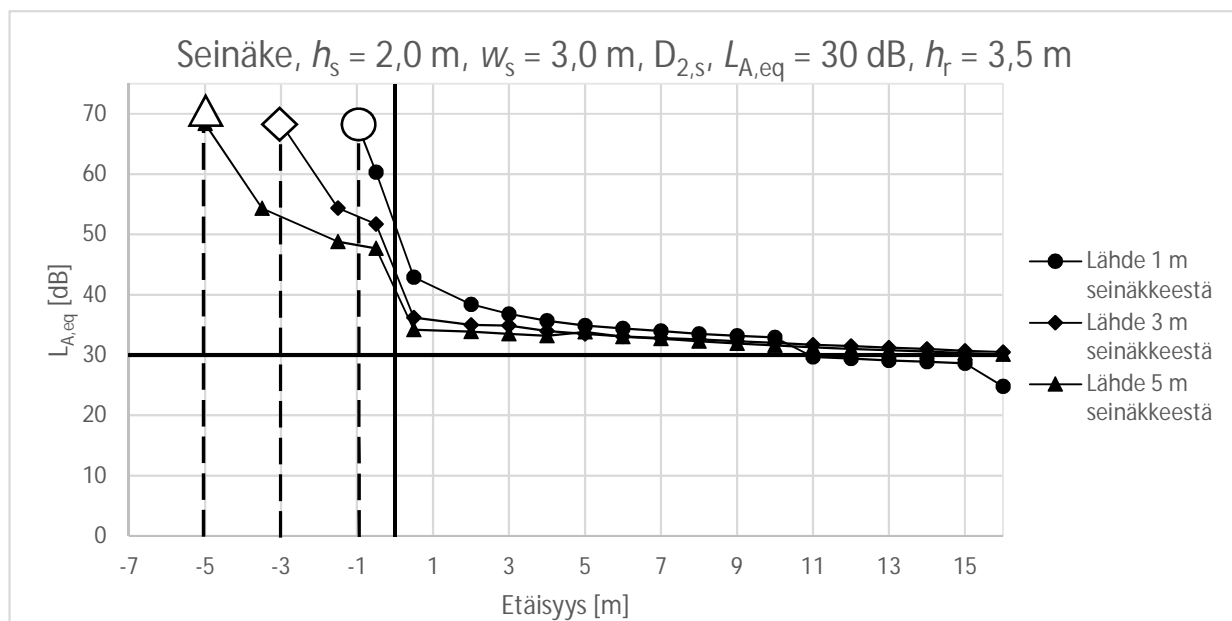
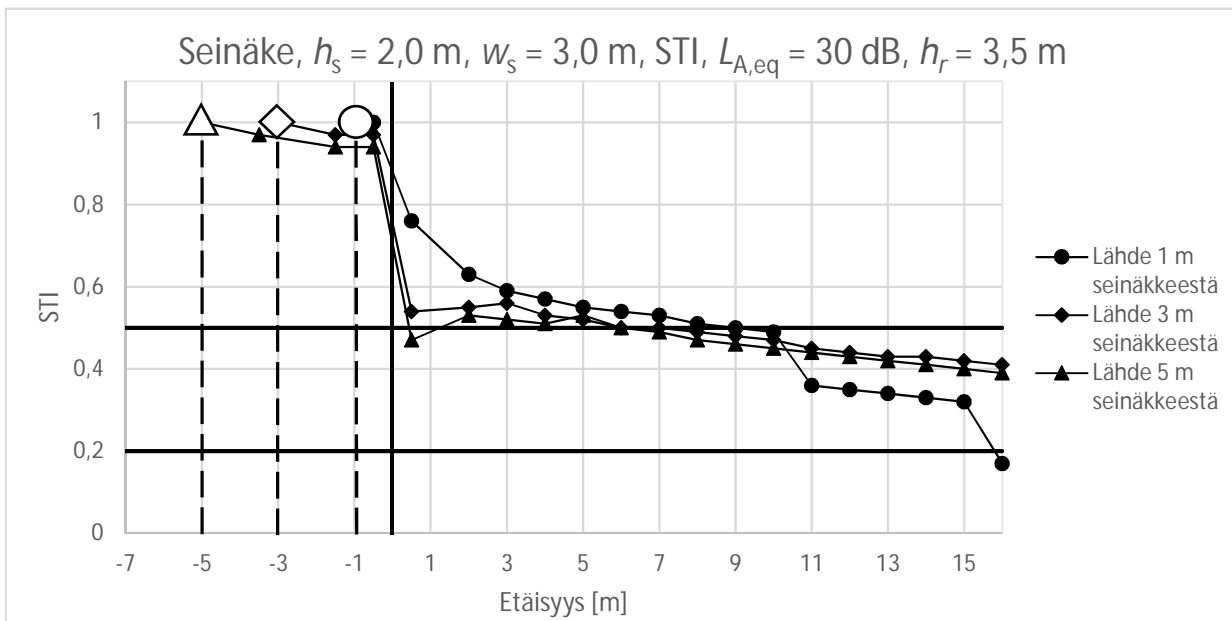
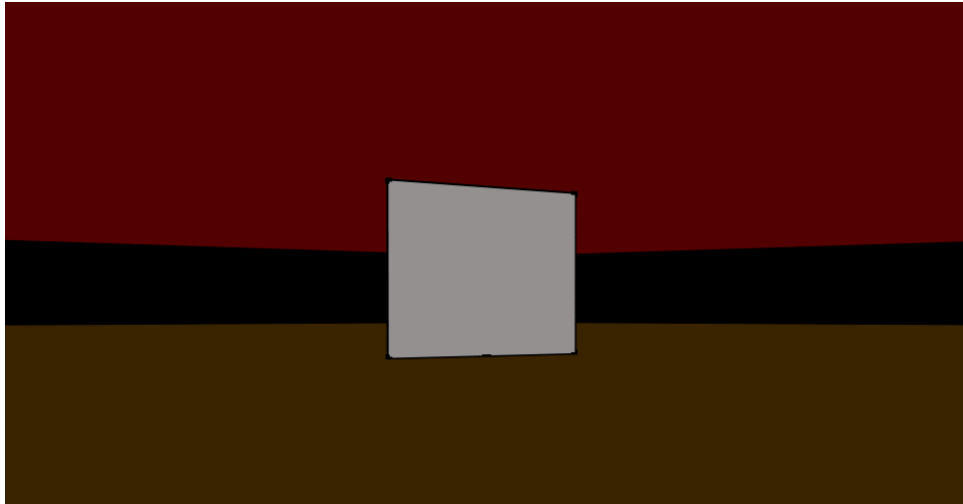


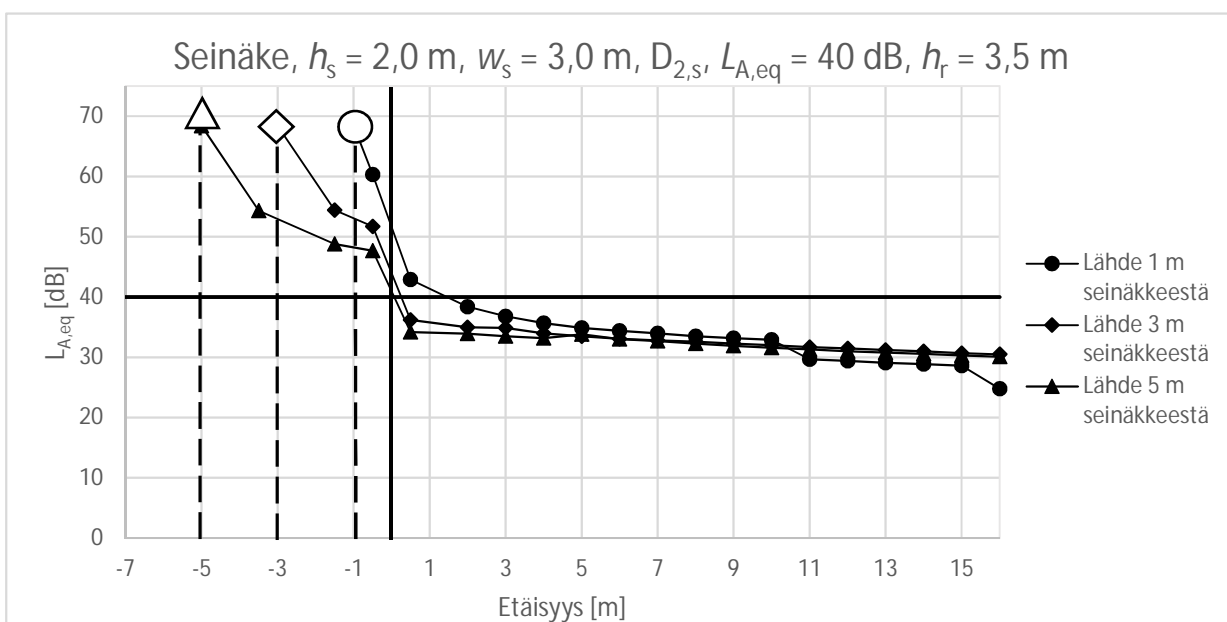
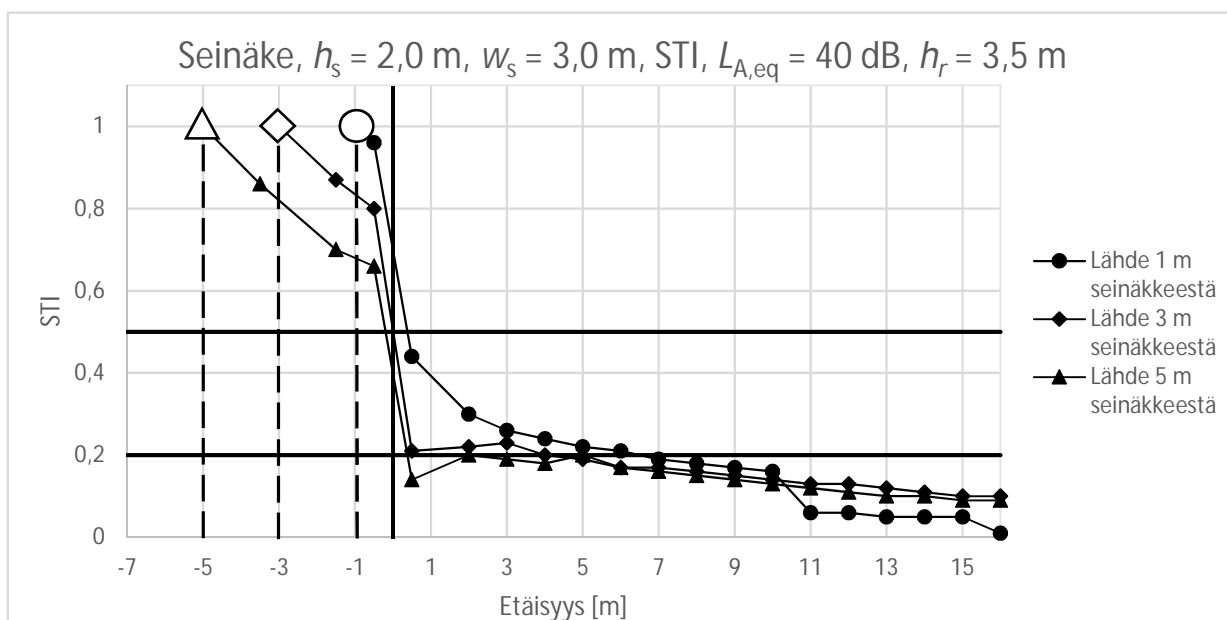
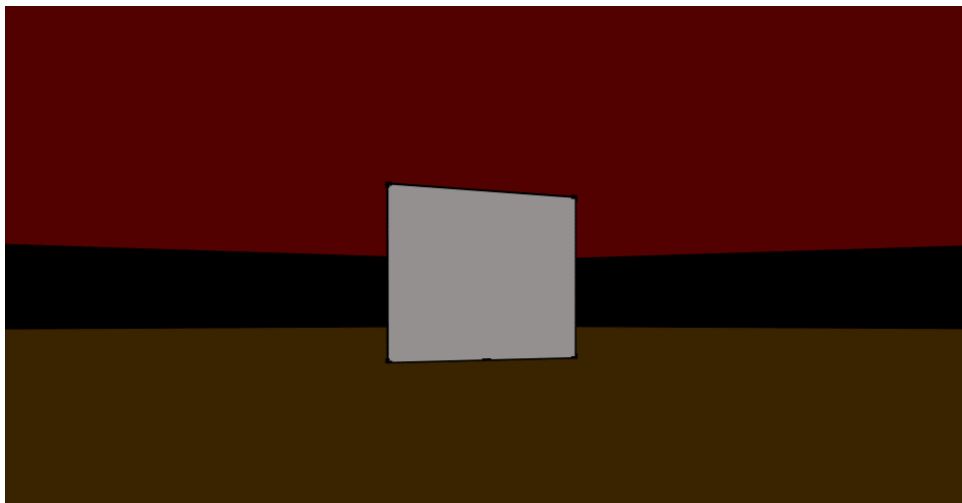


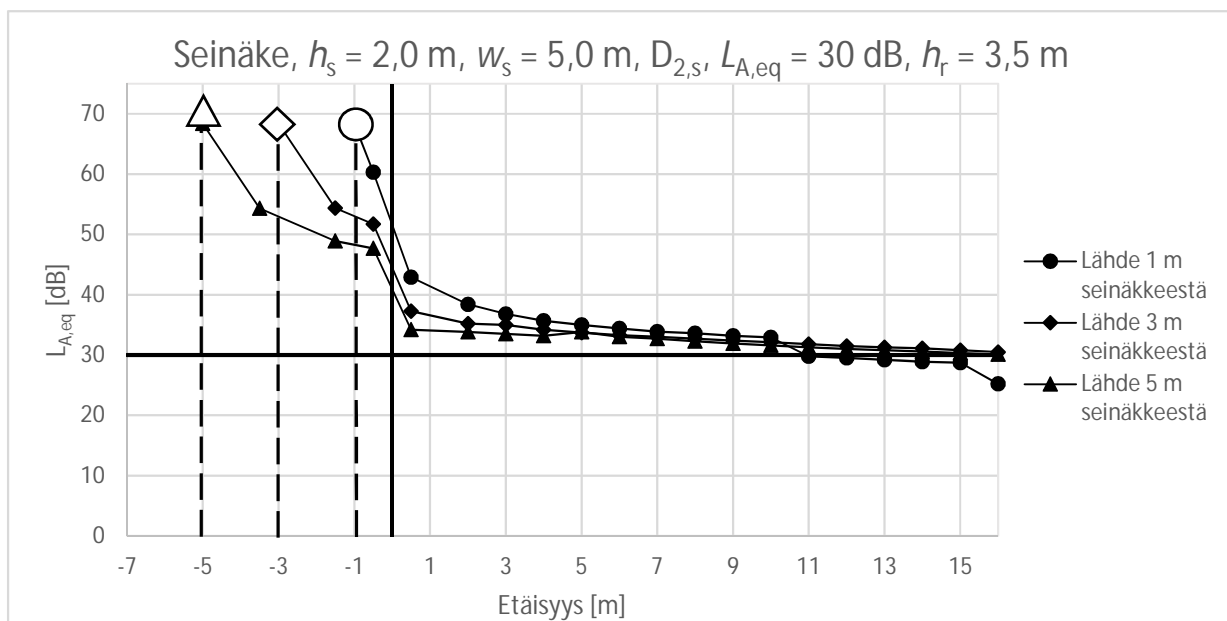
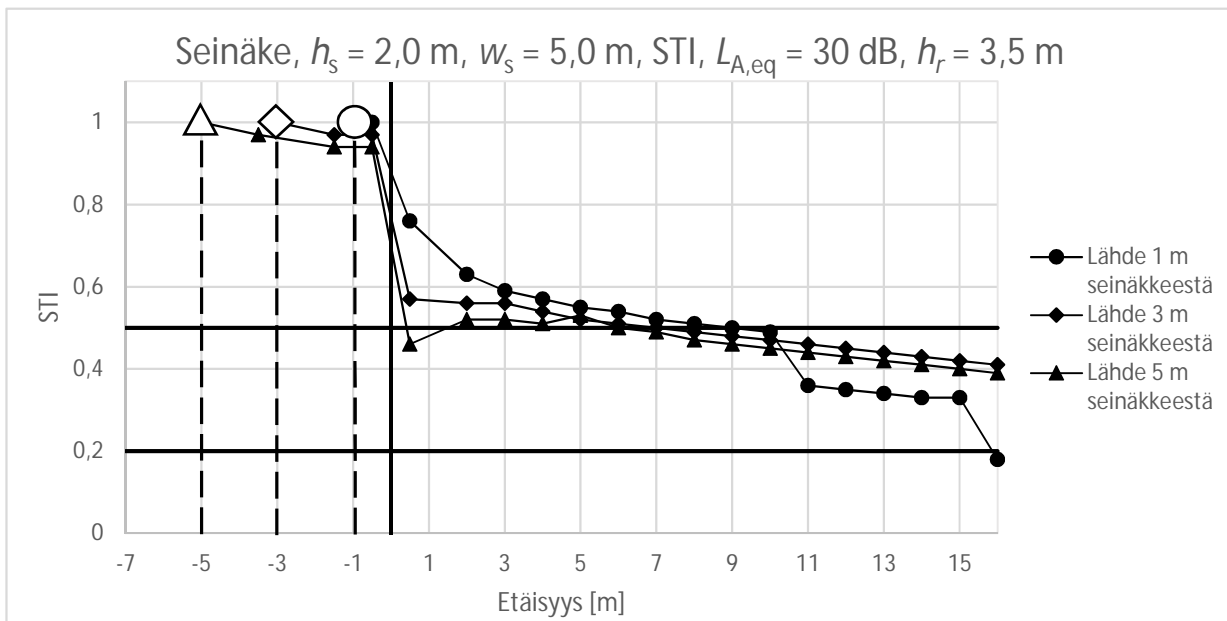
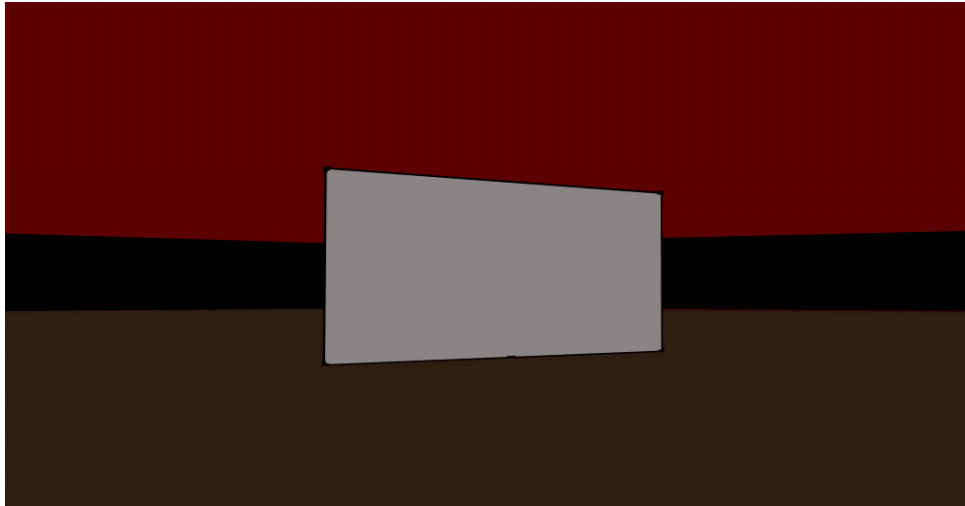


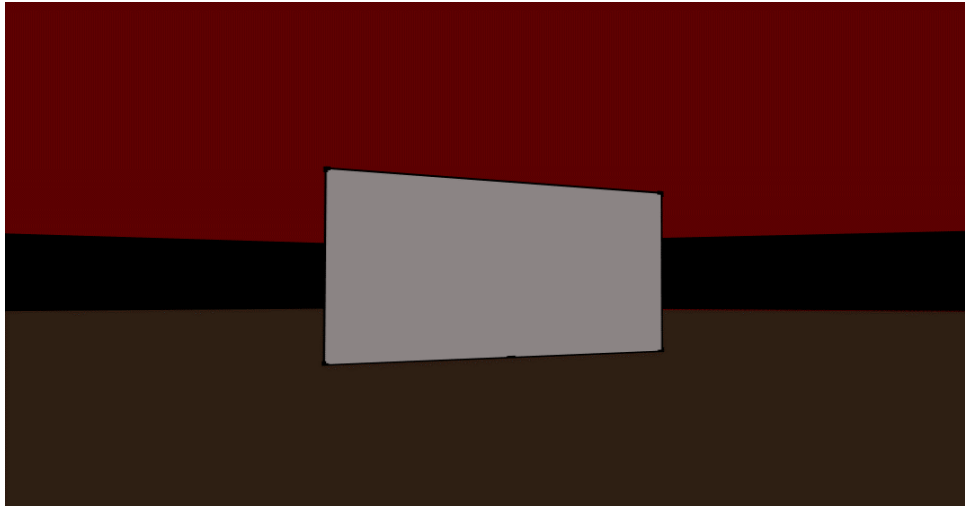
Mallinnustulokset, seinäkkeen leveyden vaikutus, ilmääneneristysominaisuudella



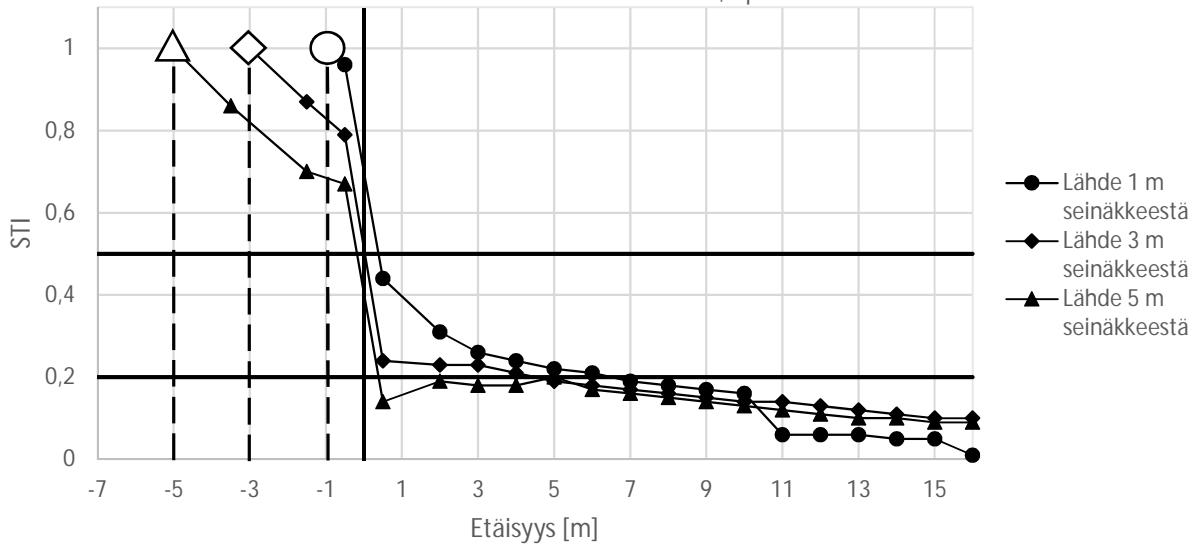




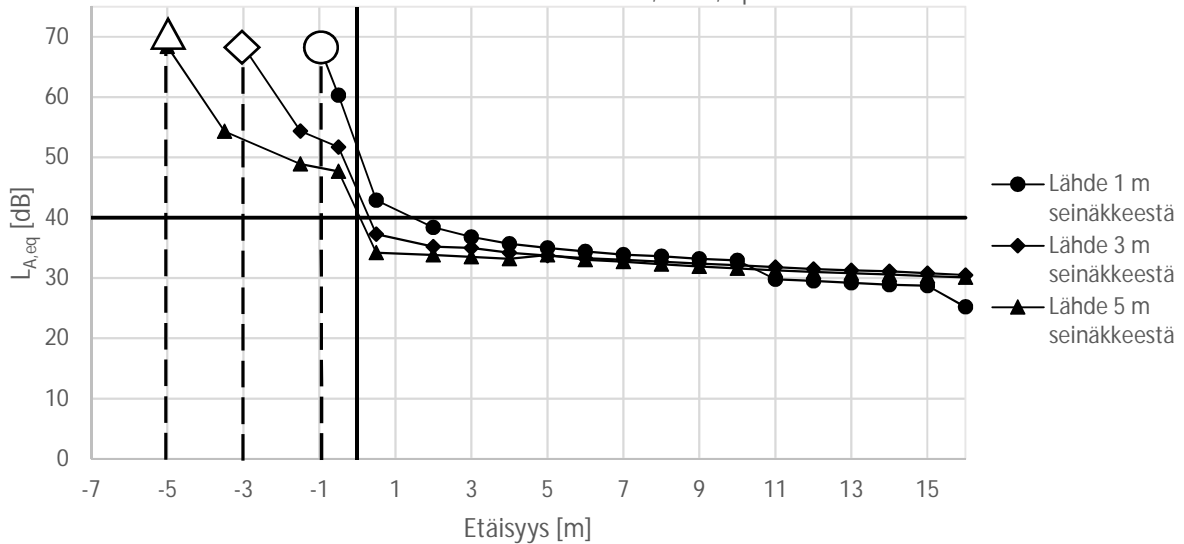


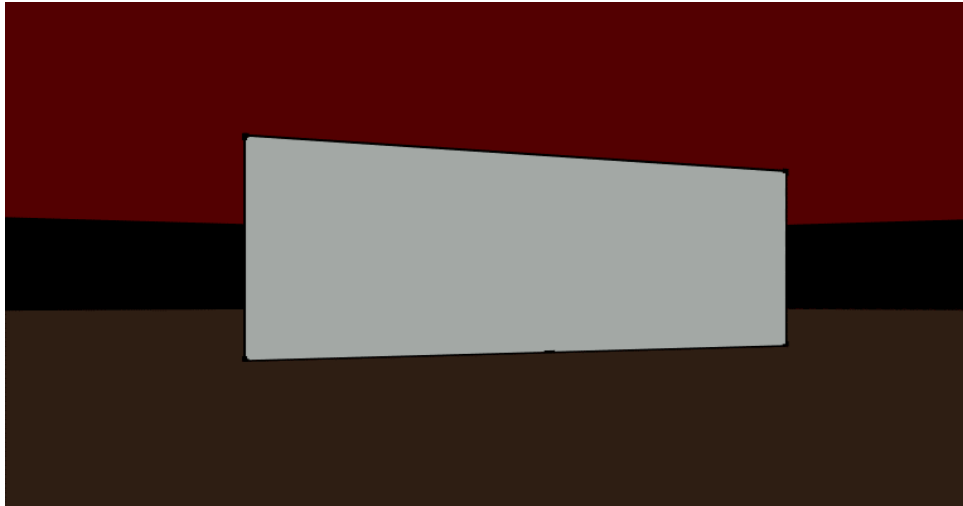


Seinäke, $h_s = 2,0 \text{ m}$, $w_s = 5,0 \text{ m}$, STI , $L_{A,eq} = 40 \text{ dB}$, $h_r = 3,5 \text{ m}$

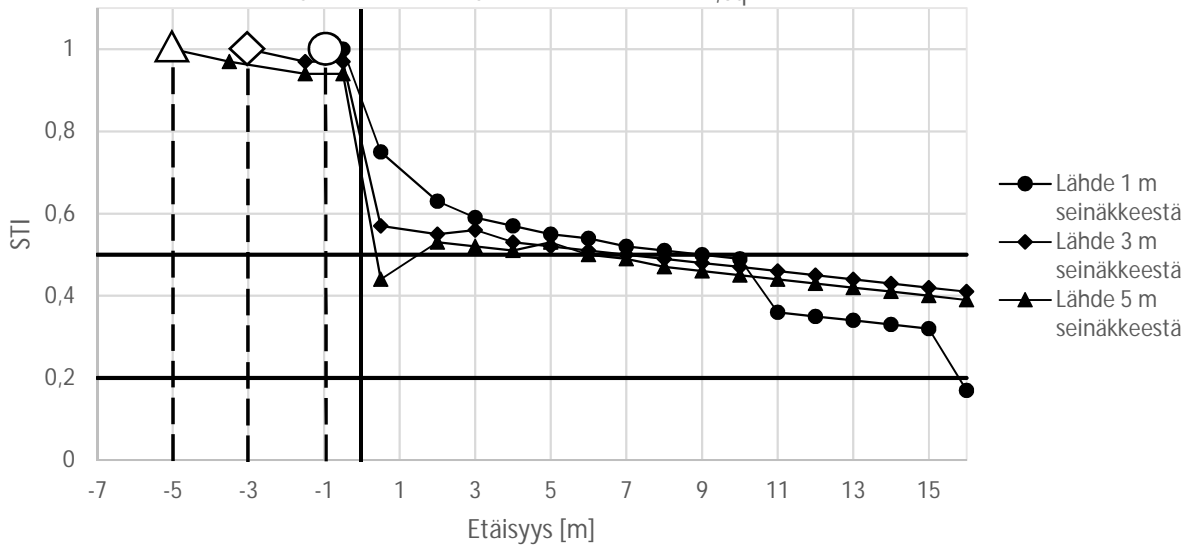


Seinäke, $h_s = 2,0 \text{ m}$, $w_s = 5,0 \text{ m}$, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 40 \text{ dB}$, $h_r = 3,5 \text{ m}$

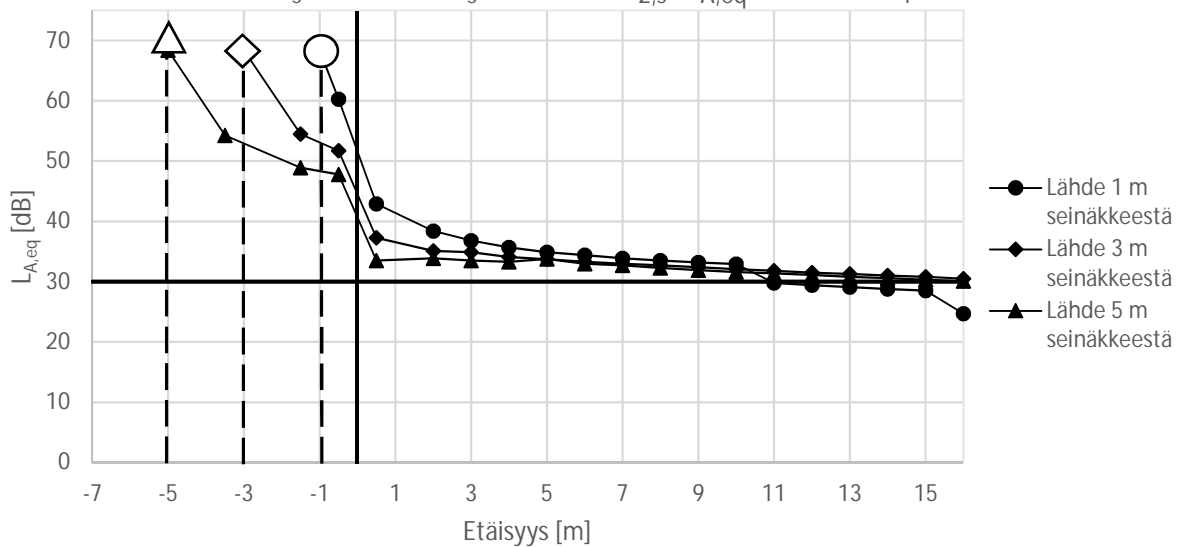


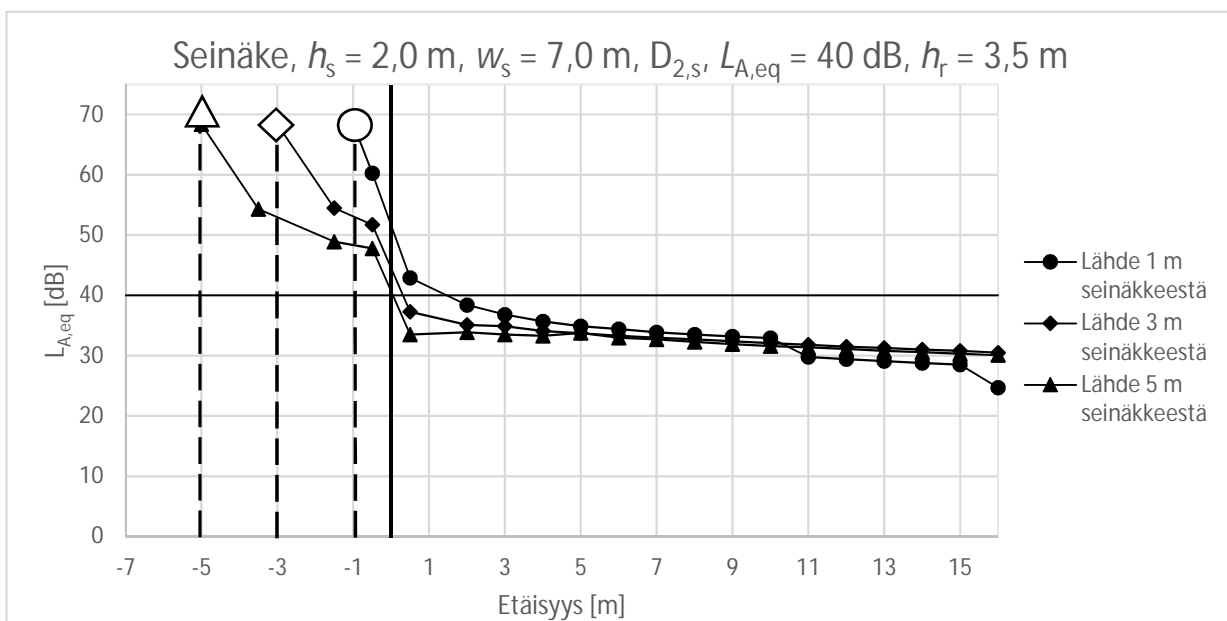
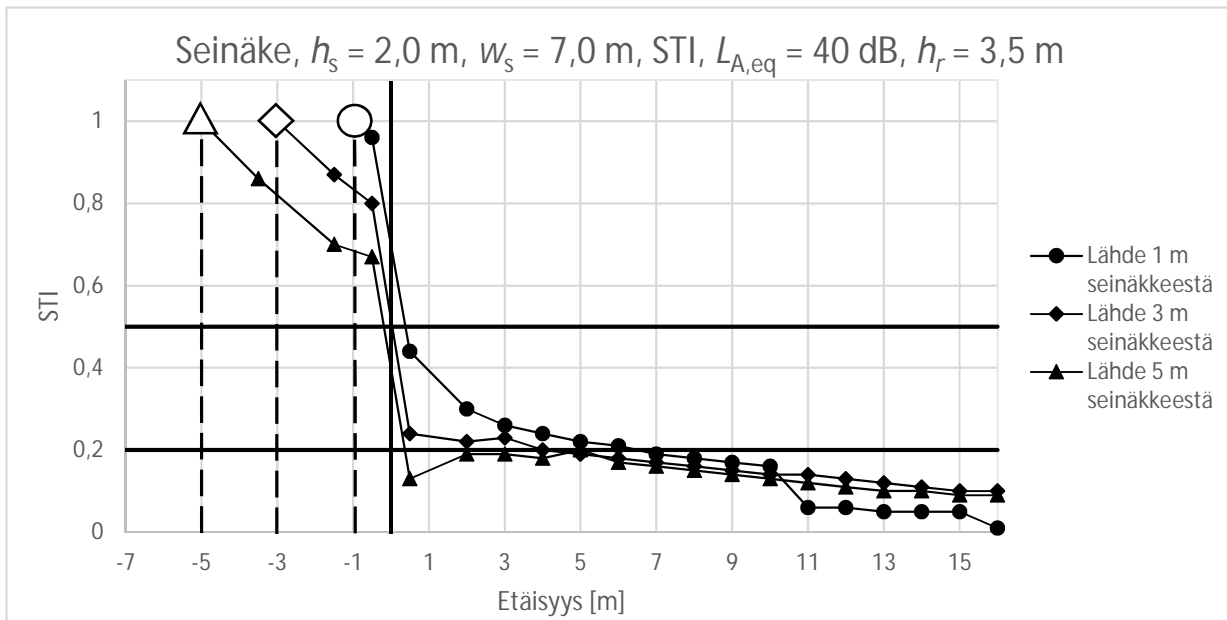
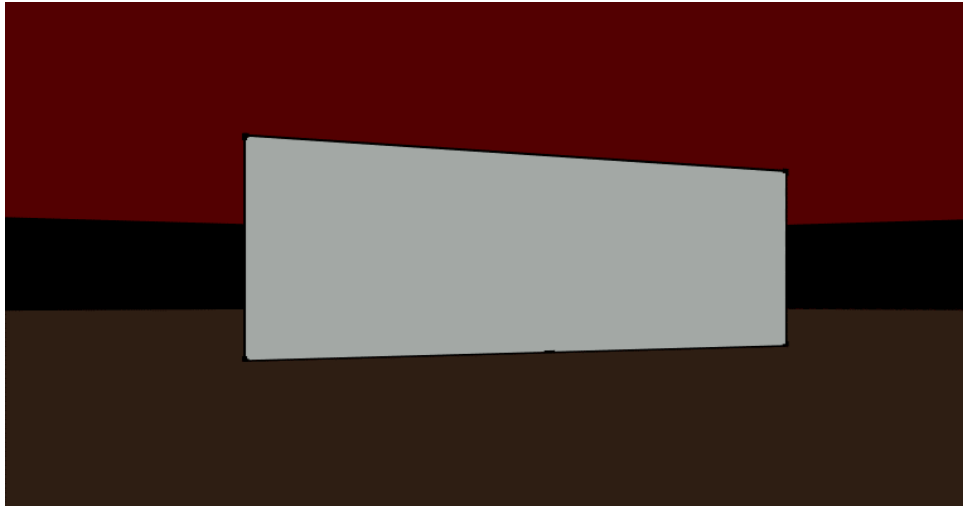


Seinäke, $h_s = 2,0 \text{ m}$, $w_s = 7,0 \text{ m}$, STI, $L_{A,eq} = 30 \text{ dB}$, $h_r = 3,5 \text{ m}$



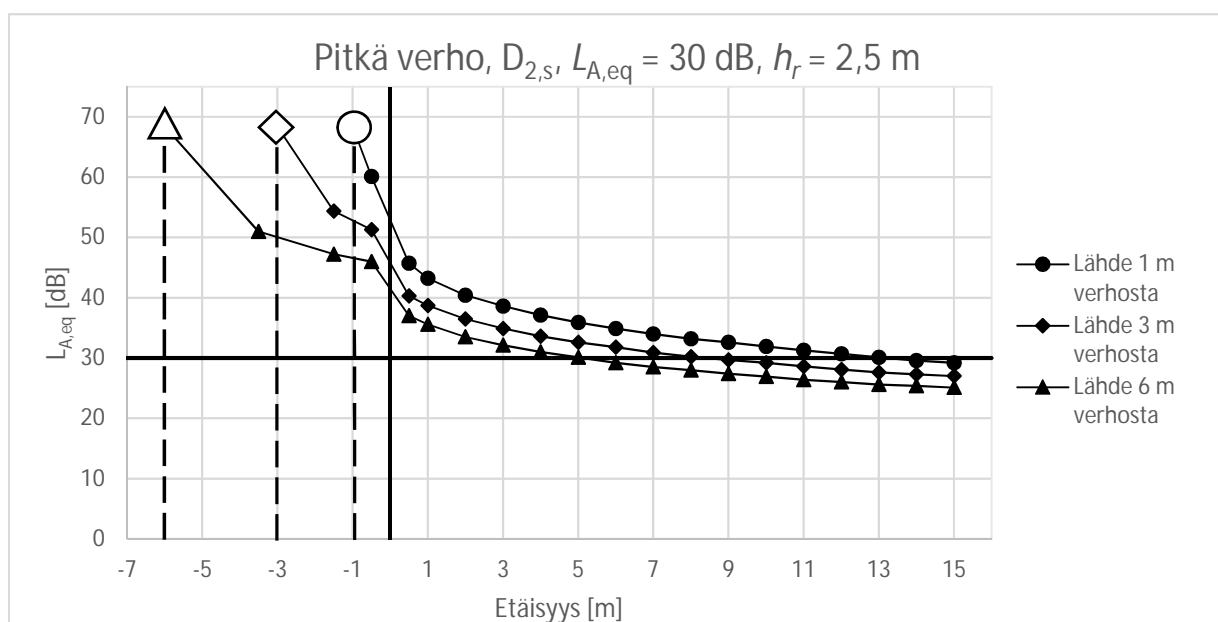
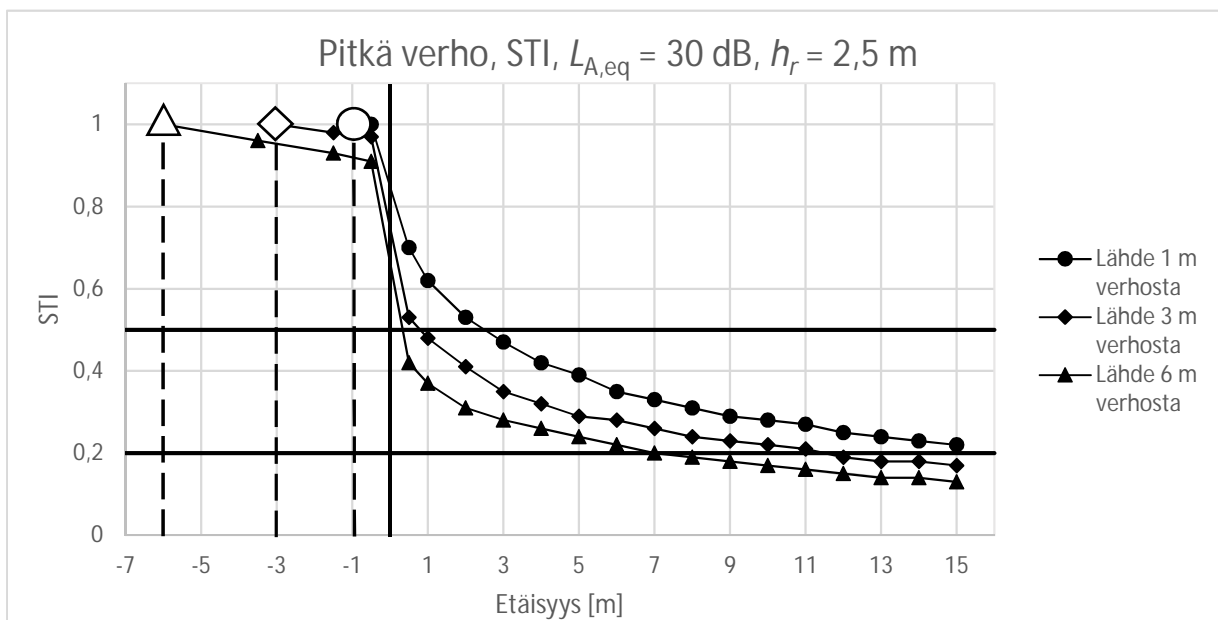
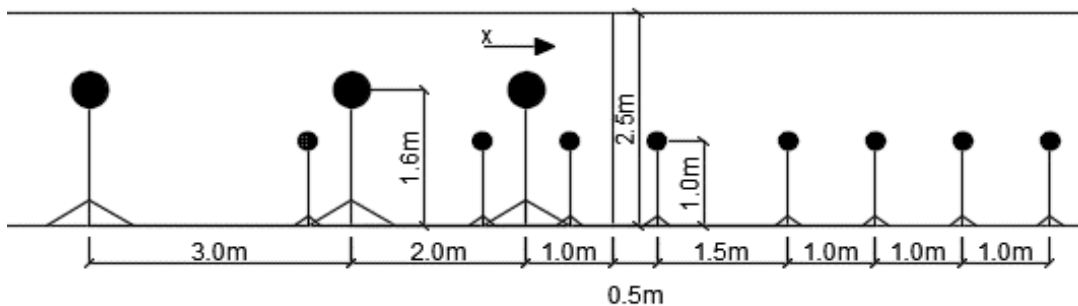
Seinäke, $h_s = 2,0 \text{ m}$, $w_s = 7,0 \text{ m}$, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 30 \text{ dB}$, $h_r = 3,5 \text{ m}$



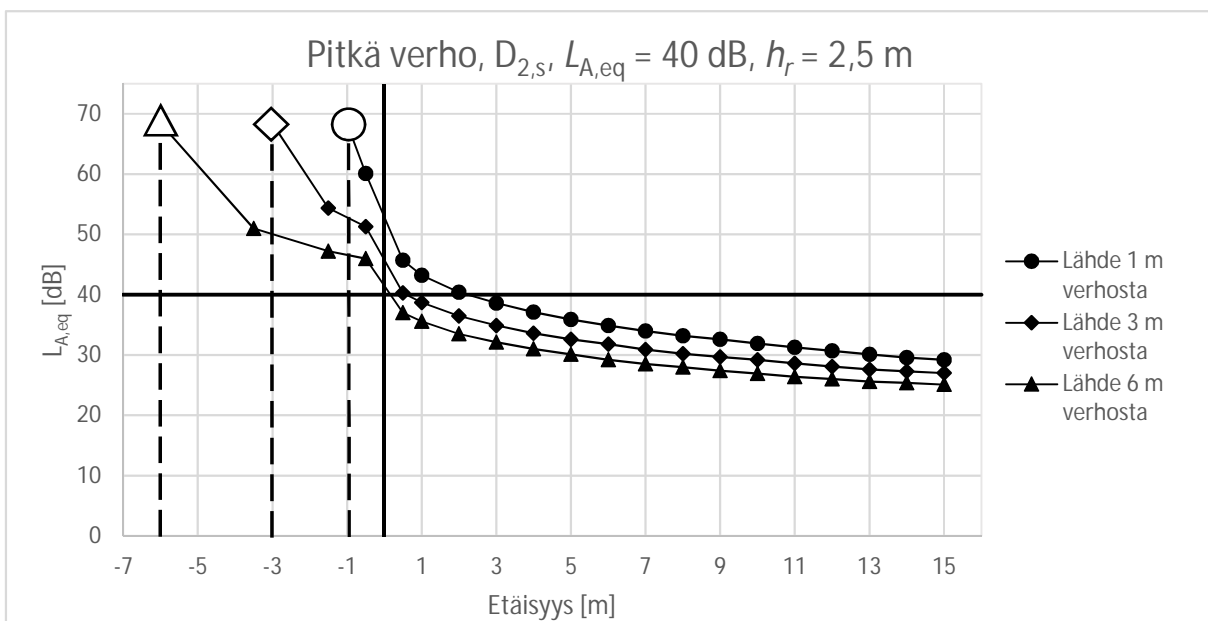
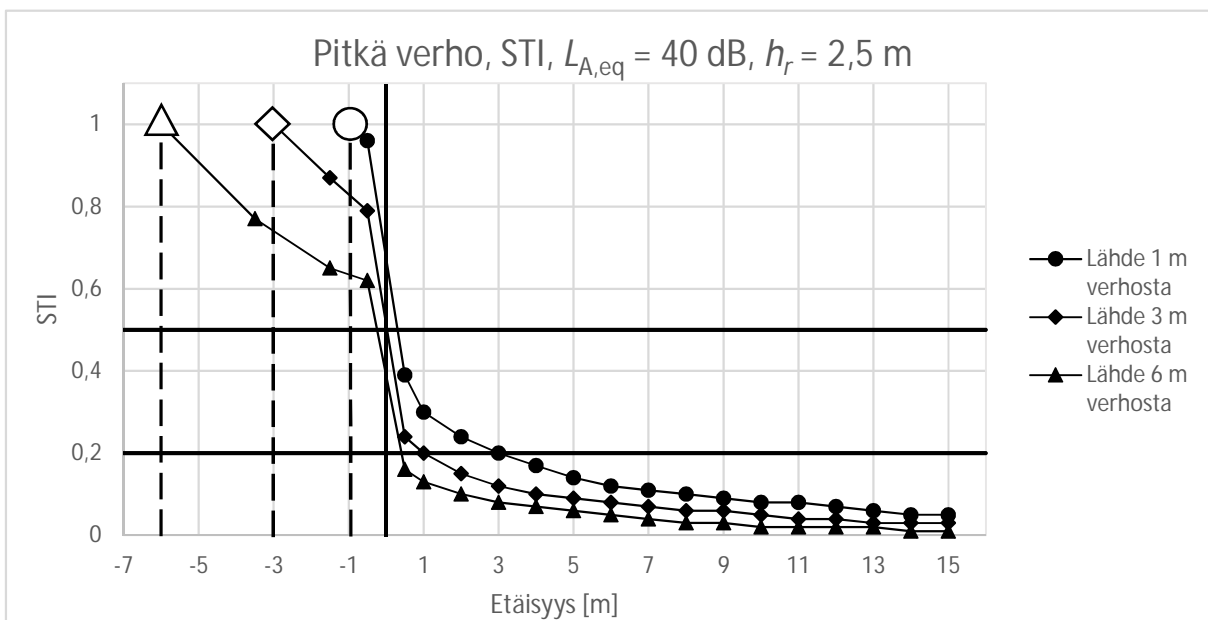
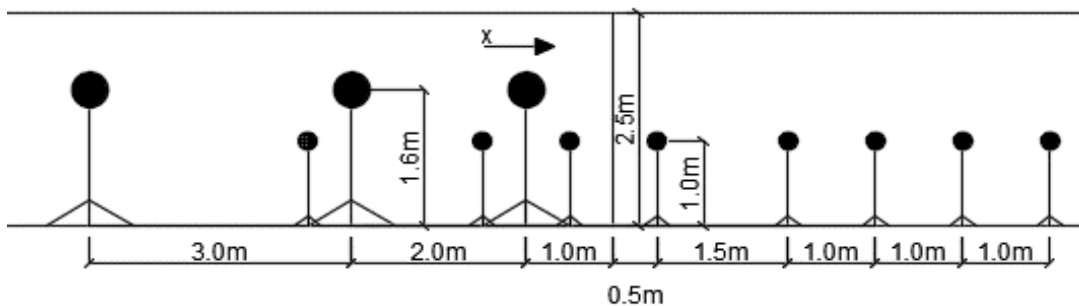


LIITE C: VERHOJEN MALLINNUSTULOKSET

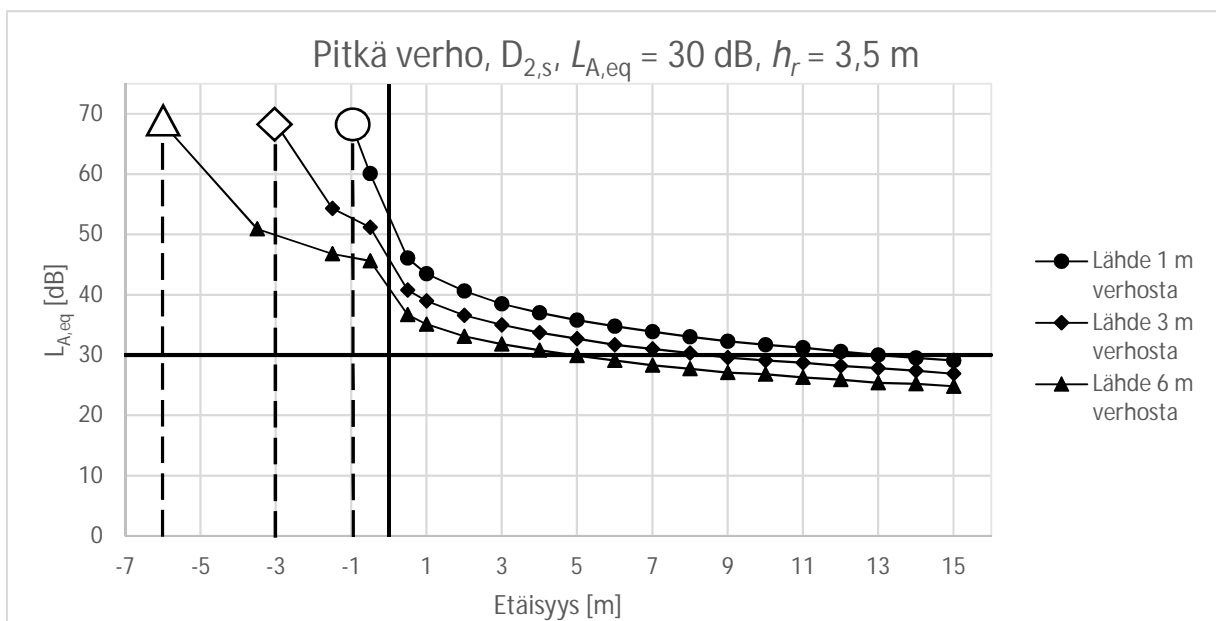
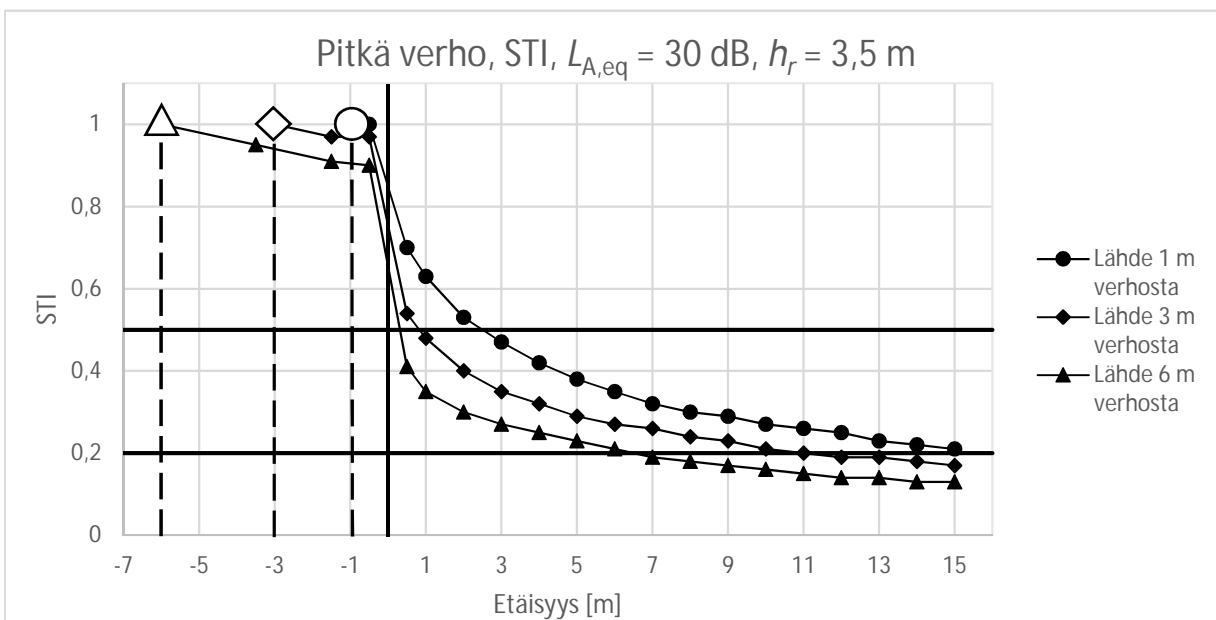
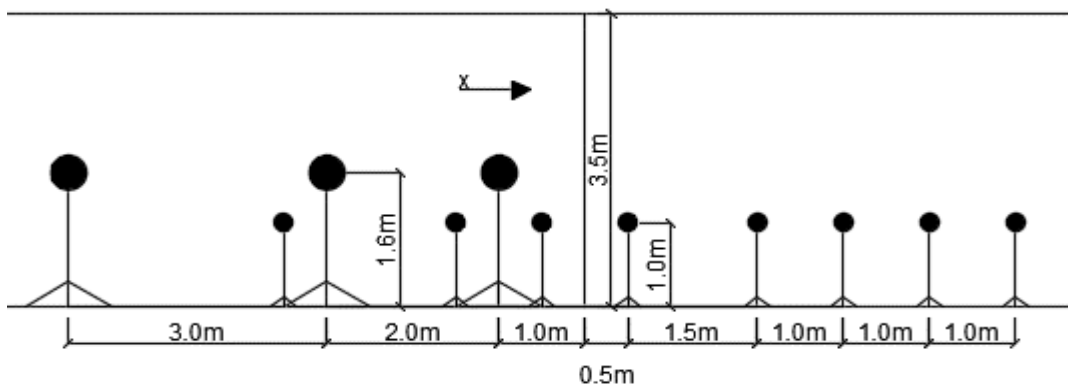
Mallinnustulokset, pitkä verho



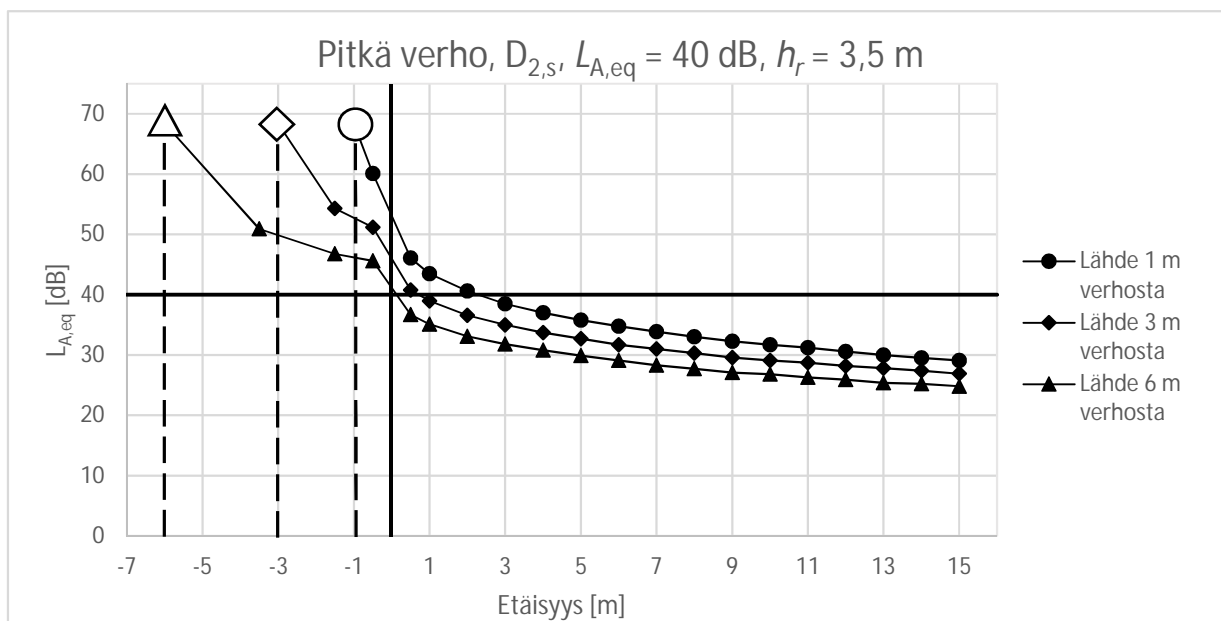
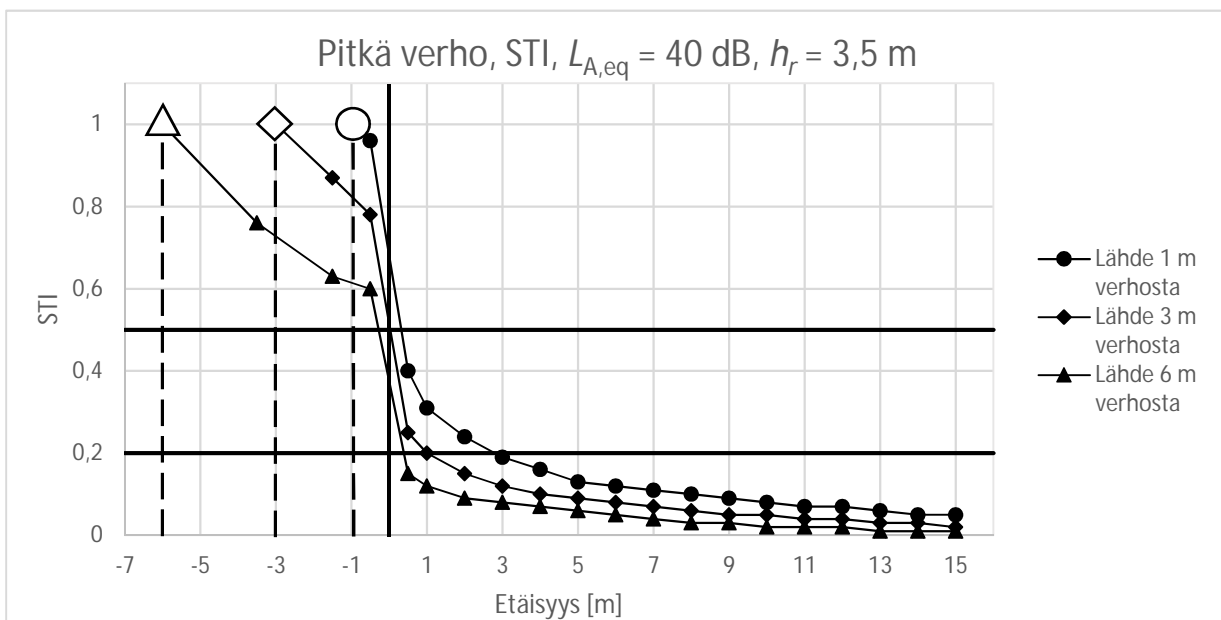
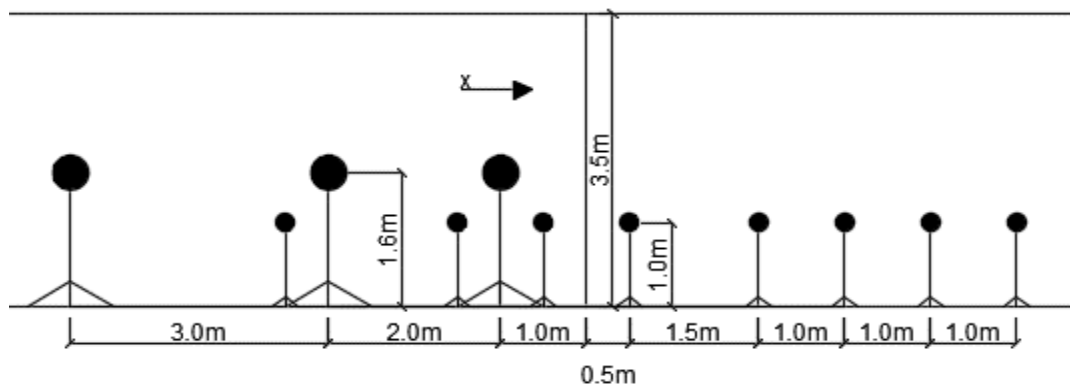
Mallinnustulokset, pitkä verho



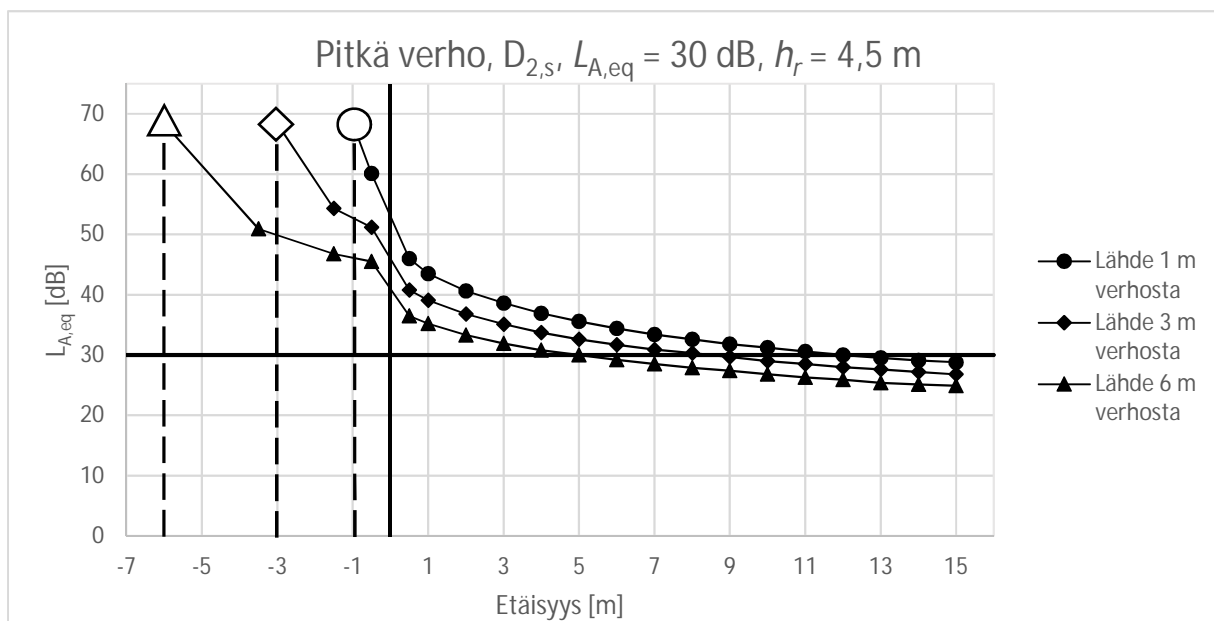
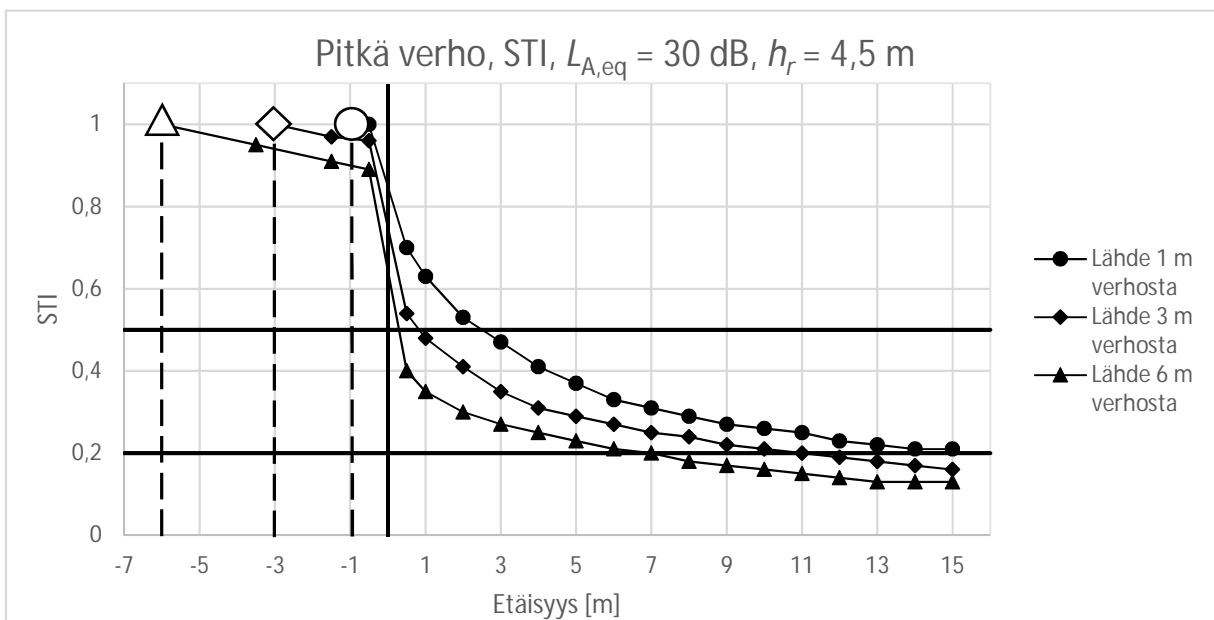
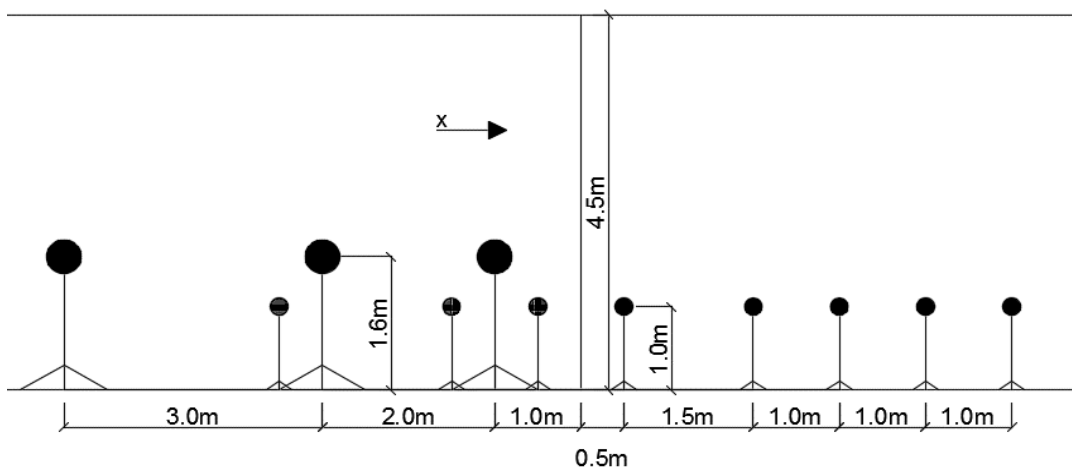
Mallinnustulokset, pitkä verho



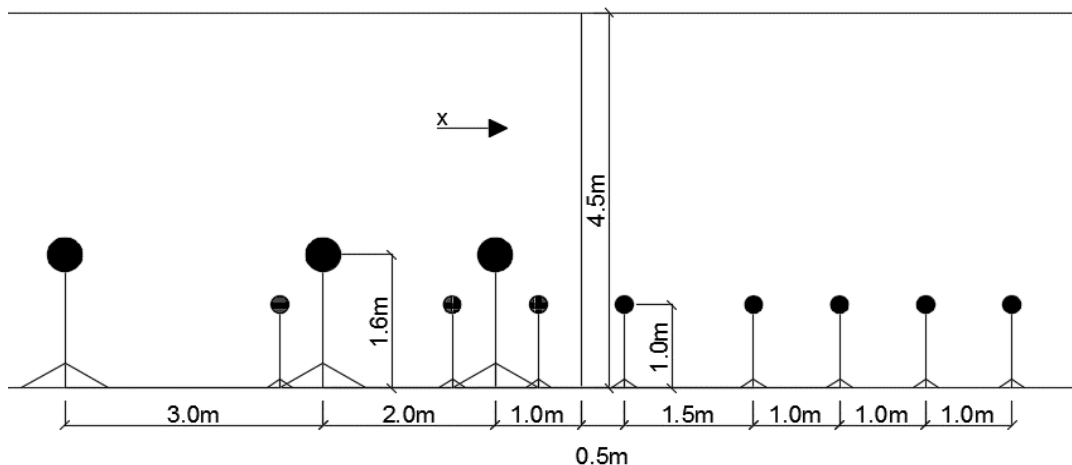
Mallinnustulokset, pitkä verho



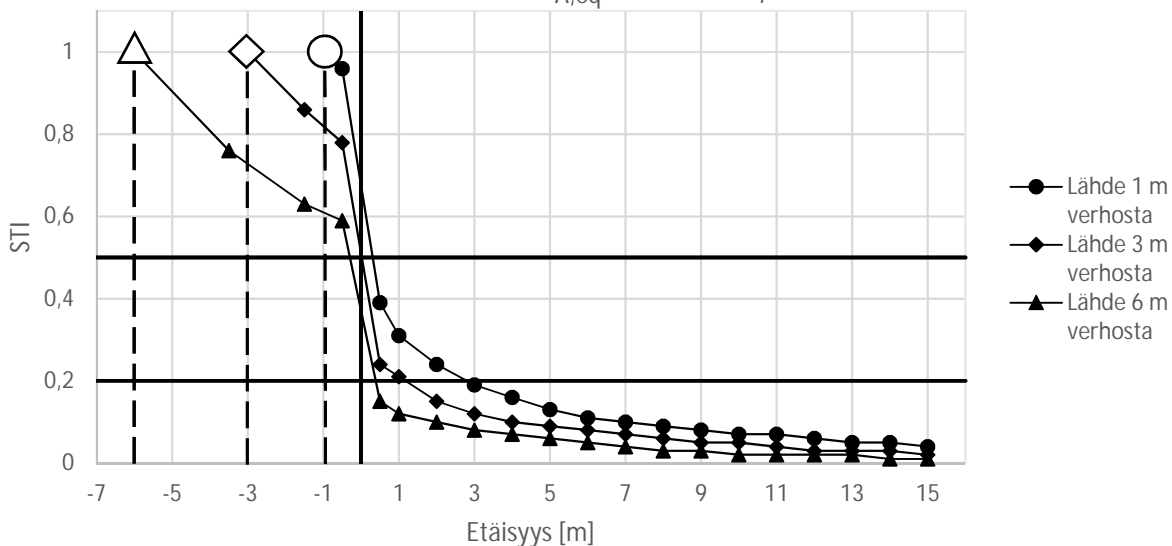
Mallinnustulokset, pitkä verho



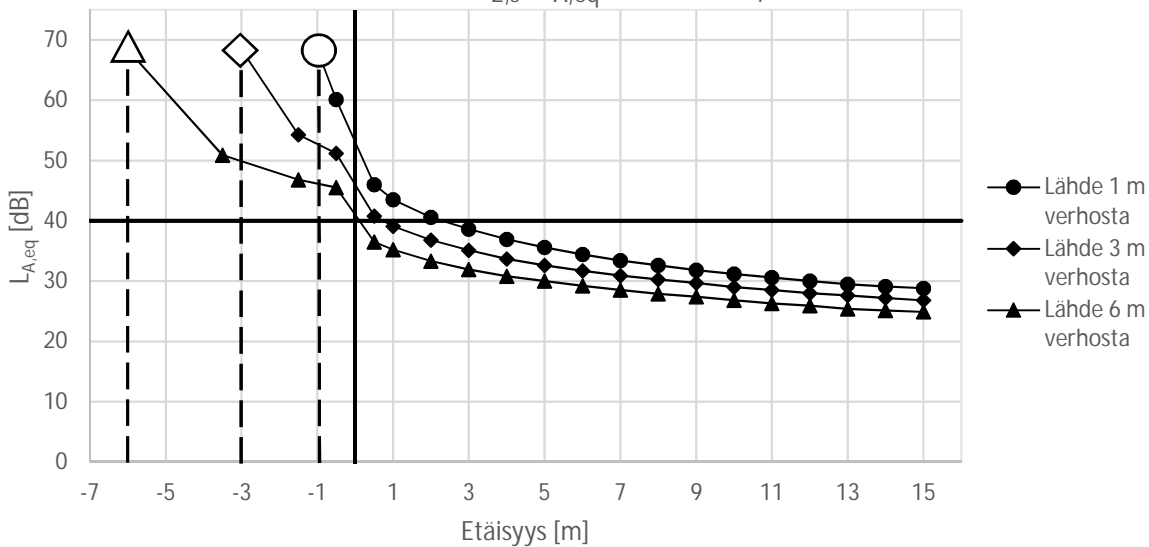
Mallinnustulokset, pitkä verho



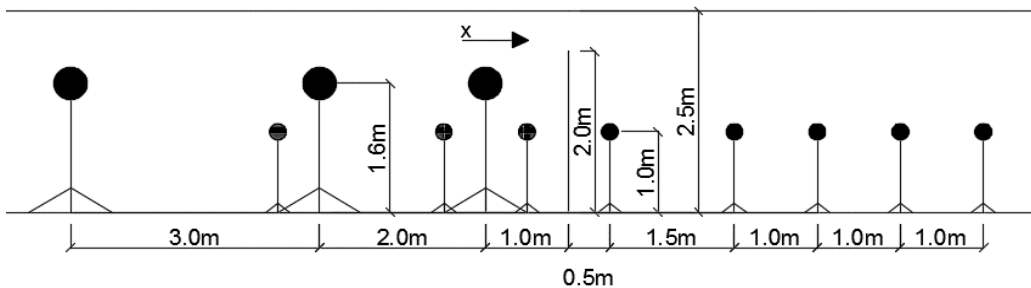
Pitkä verho, STI, $L_{A,eq} = 40 \text{ dB}$, $h_r = 4,5 \text{ m}$



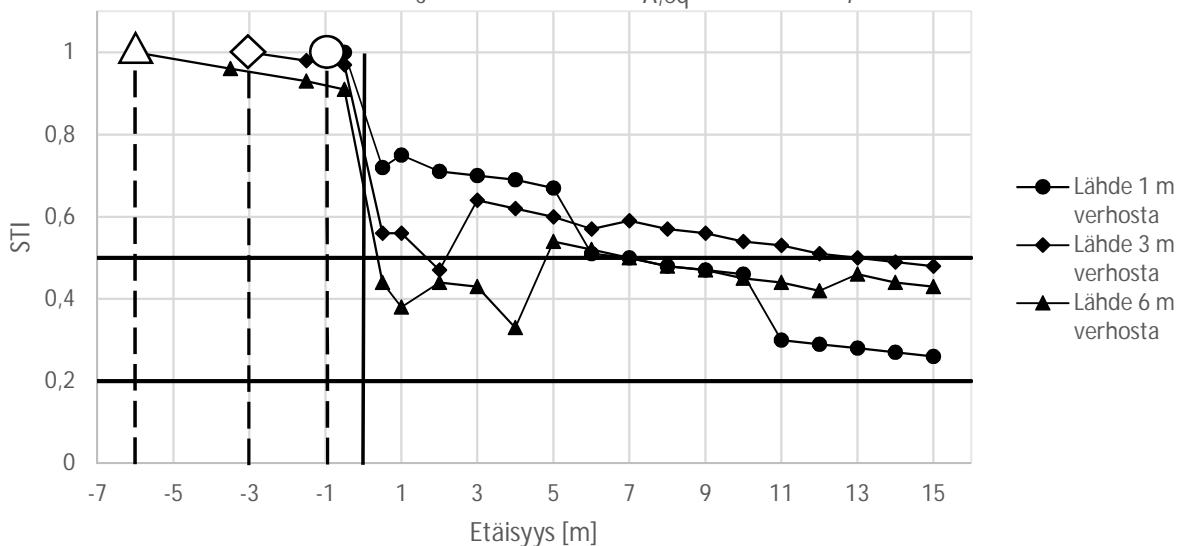
Pitkä verho, $D_{2,S}$, $L_{A,eq} = 40 \text{ dB}$, $h_r = 4,5 \text{ m}$



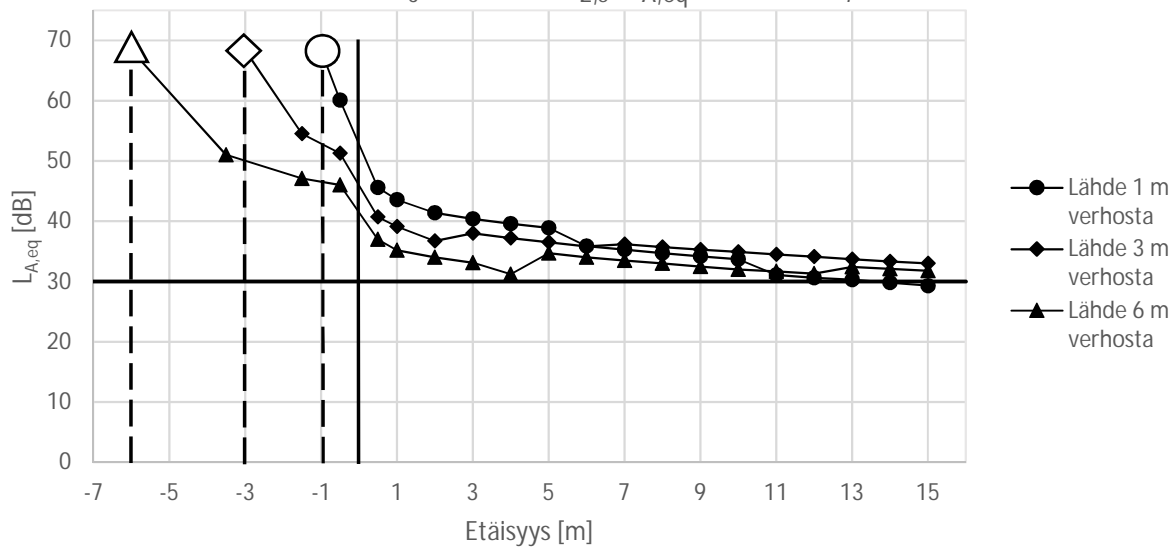
Mallinnustulokset, pitkä verho



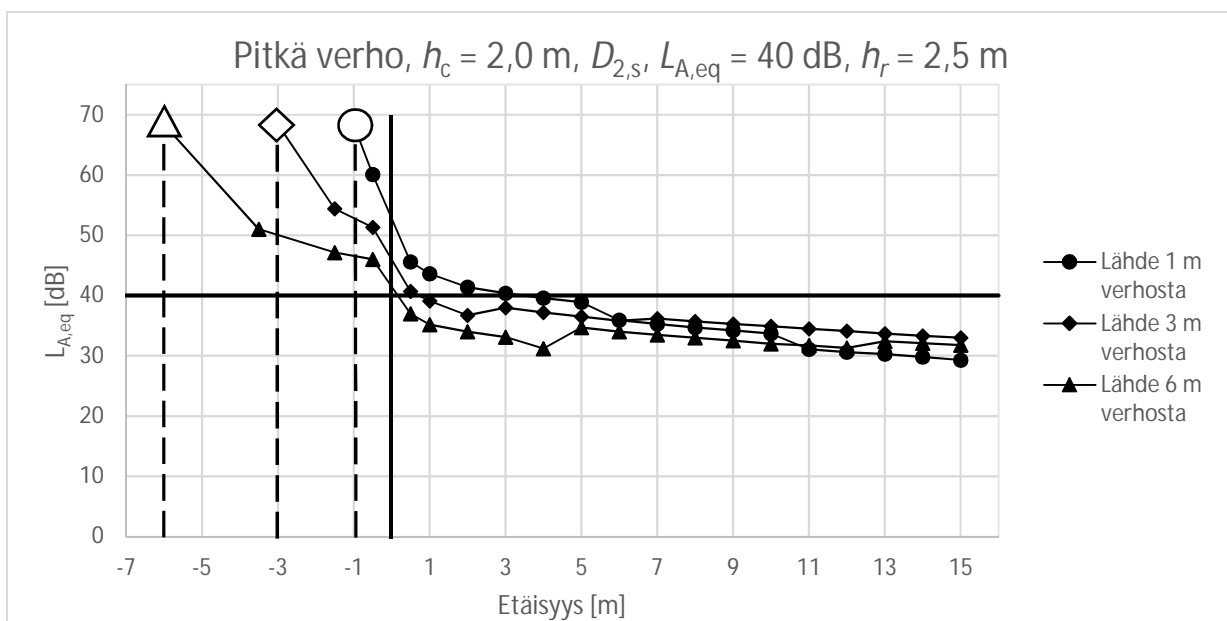
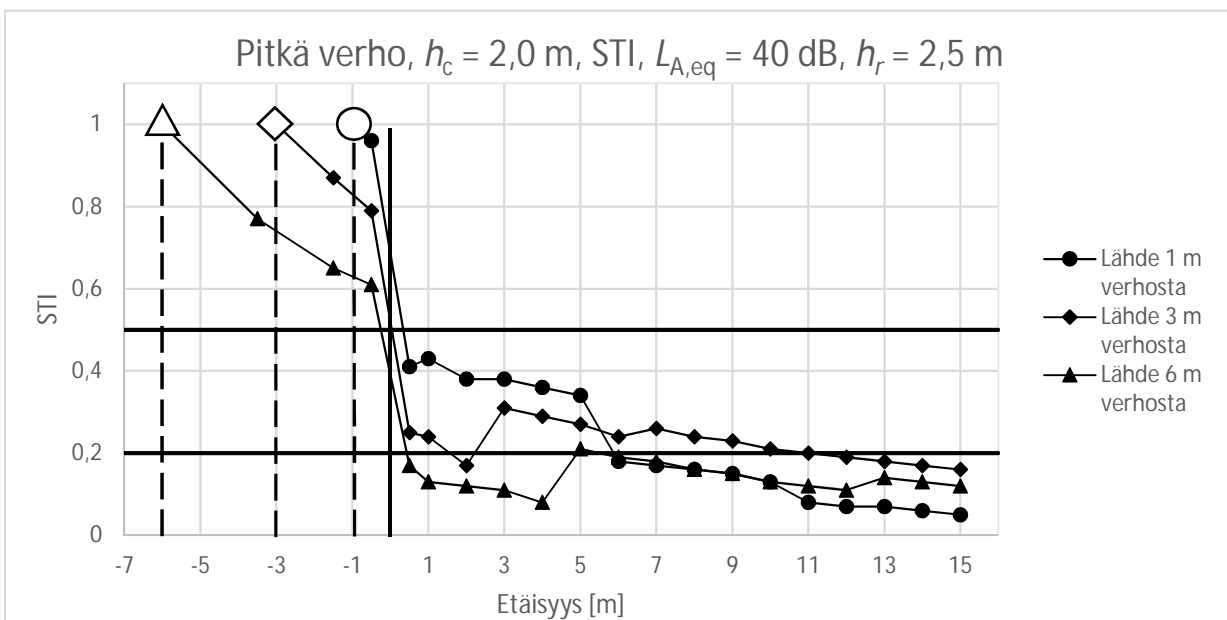
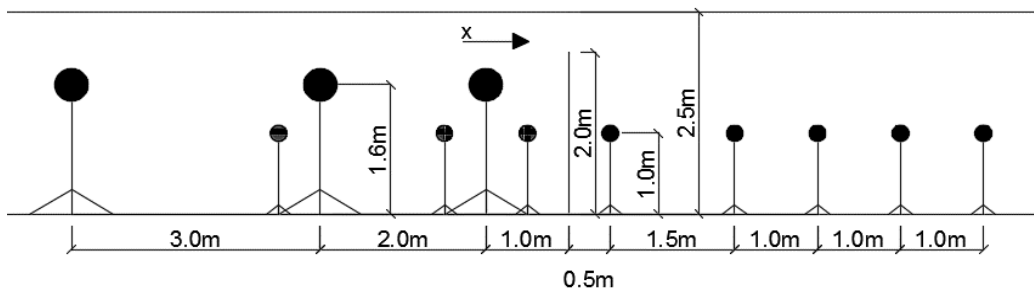
Pitkä verho, $h_c = 2,0$ m, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB, $h_r = 2,5$ m



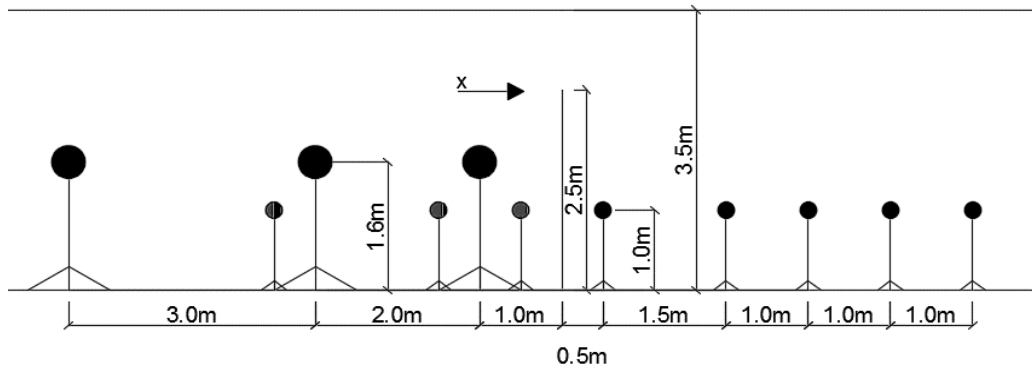
Pitkä verho, $h_c = 2,0$ m, $D_{2,S}$, $L_{A,eq} = 30$ dB, $h_r = 2,5$ m



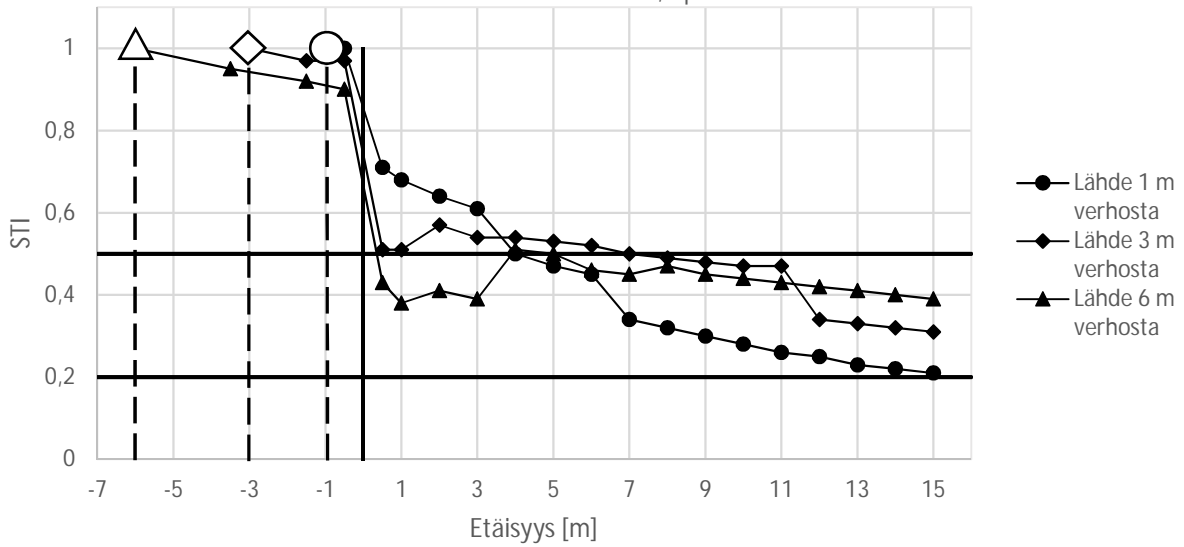
Mallinnustulokset, pitkä verho



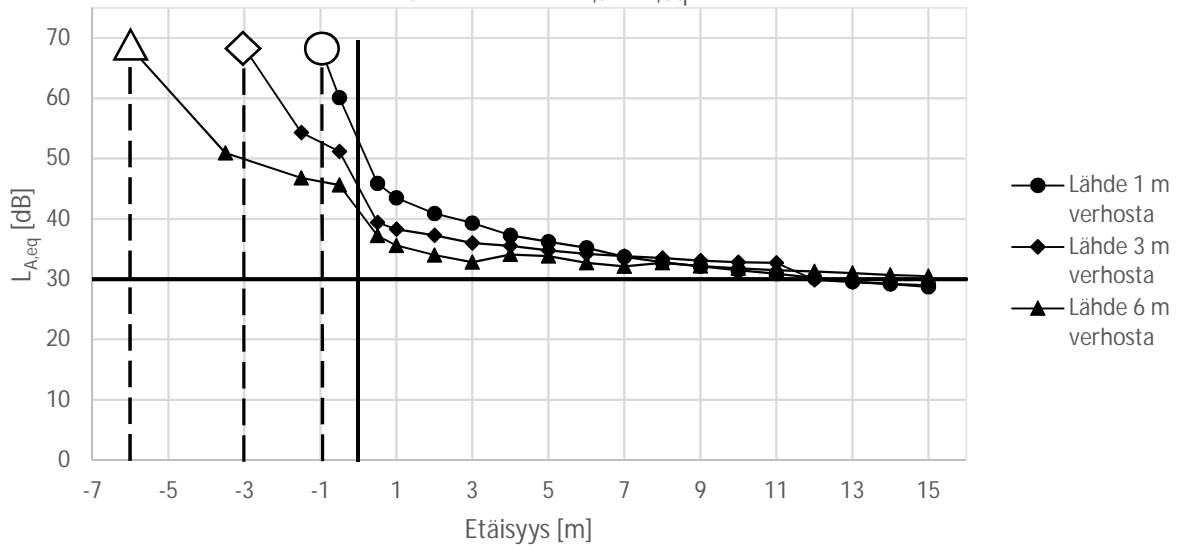
Mallinnustulokset, pitkä verho



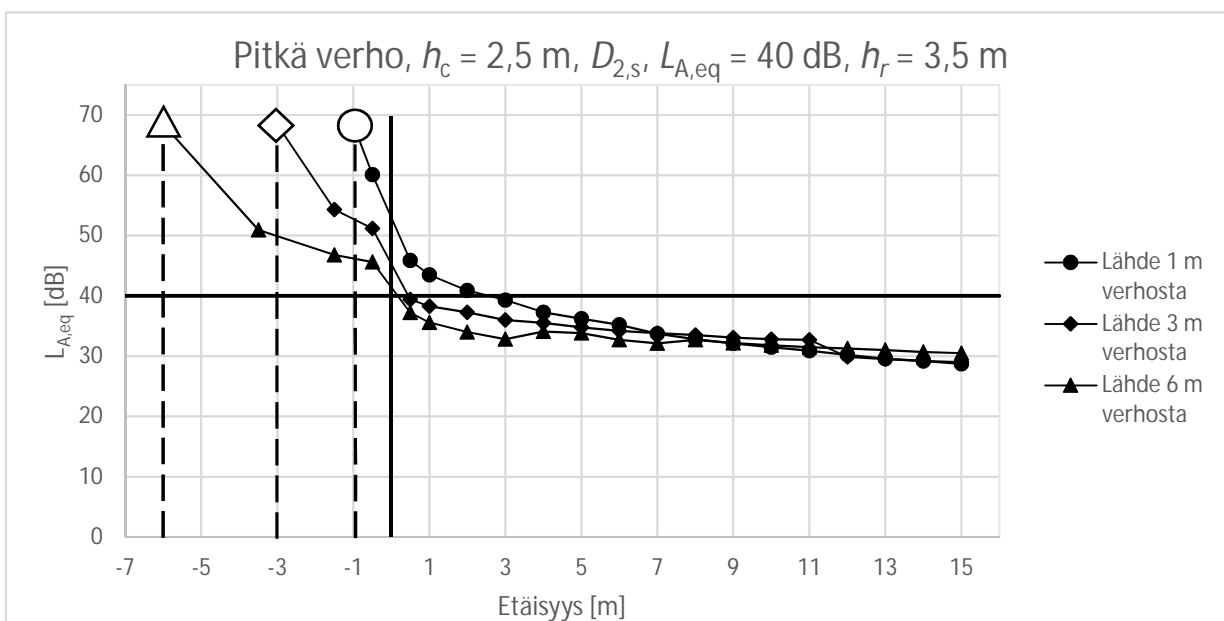
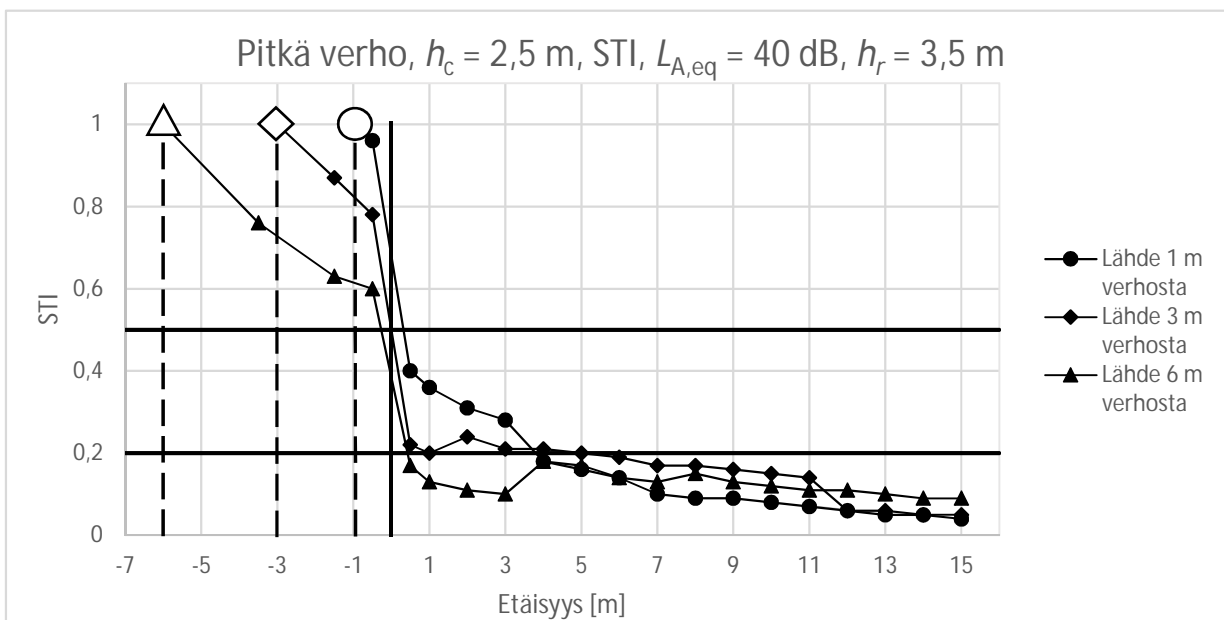
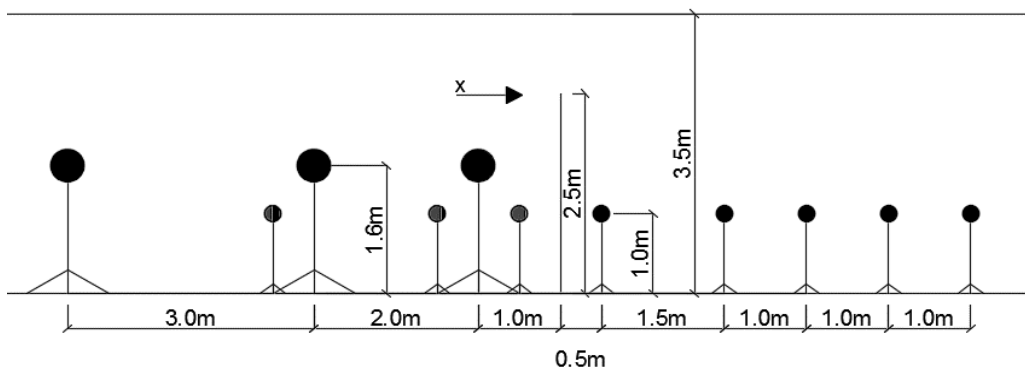
Pitkä verho, $h_c = 2,5$ m, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB, $h_r = 3,5$ m



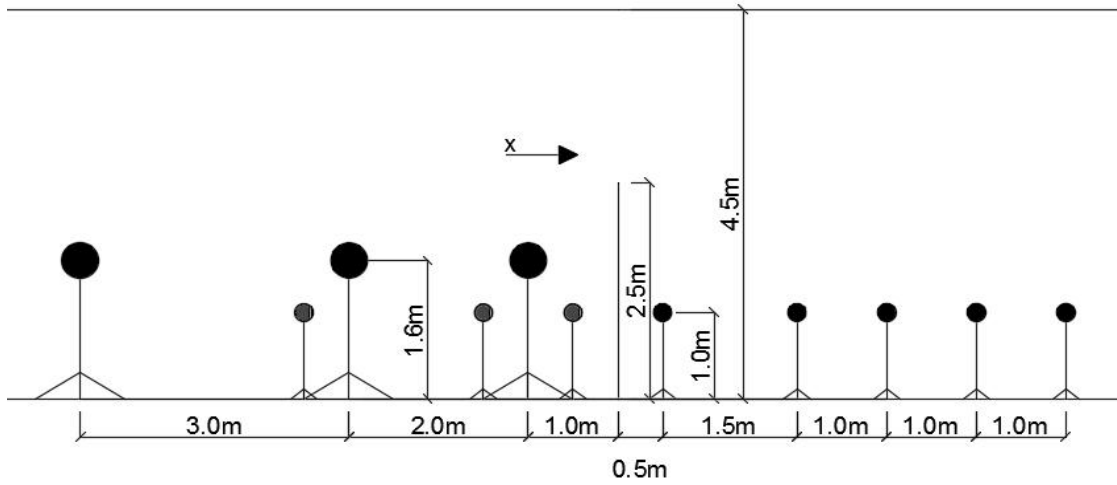
Pitkä verho, $h_c = 2,5$ m, $D_{2,S}$, $L_{A,eq} = 30$ dB, $h_r = 3,5$ m



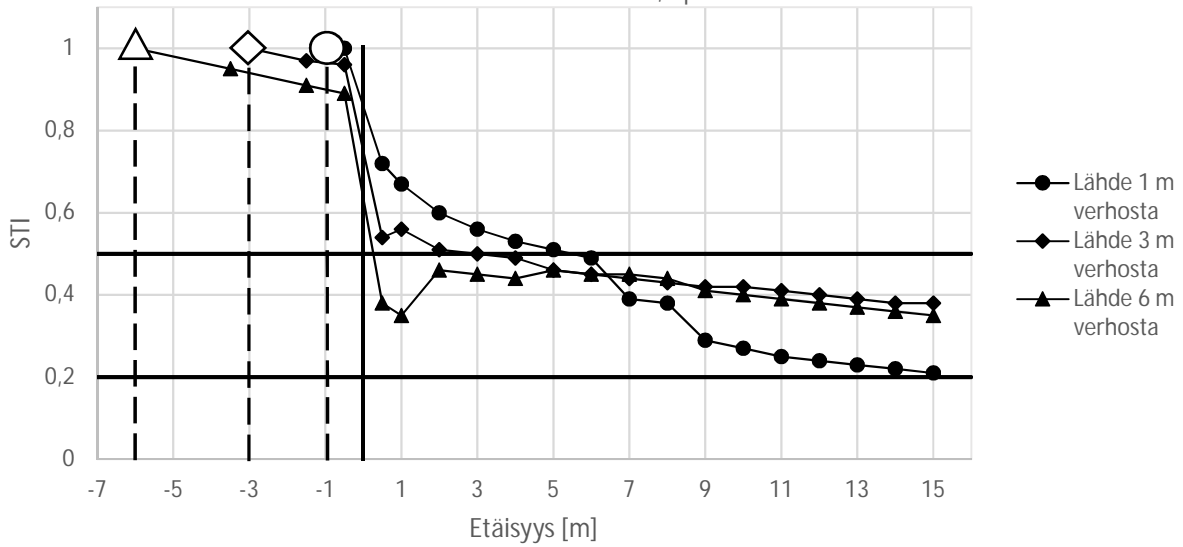
Mallinnustulokset, pitkä verho



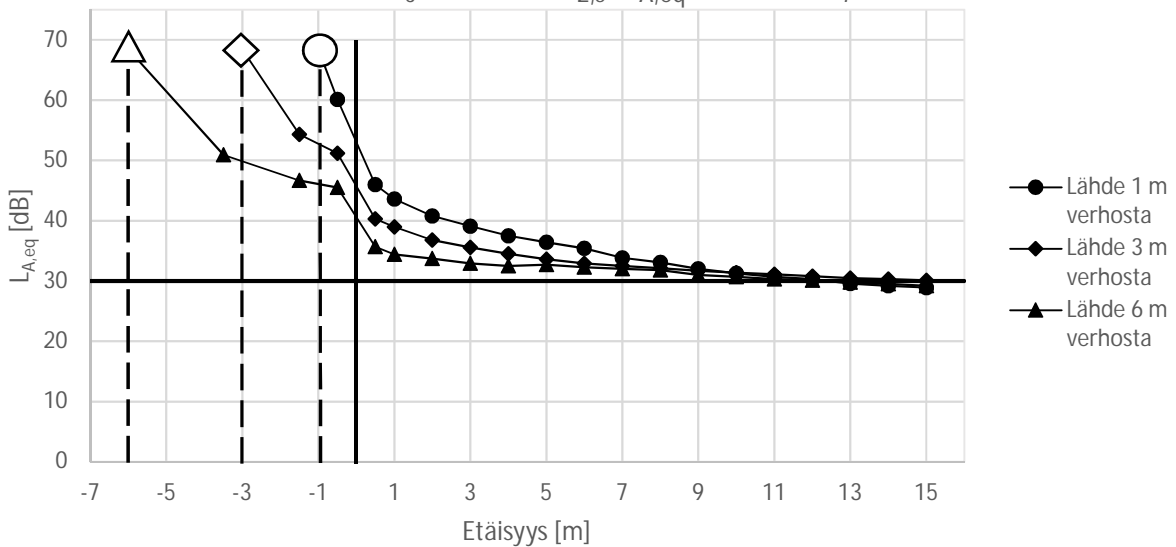
Mallinnustulokset, pitkä verho



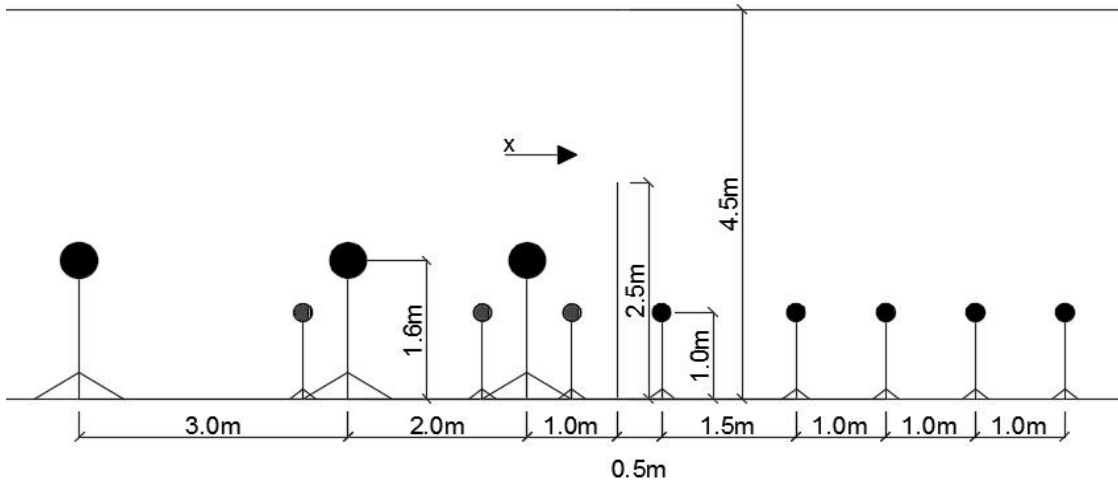
Pitkä verho, $h_c = 2,5 \text{ m}$, STI, $L_{A,eq} = 30 \text{ dB}$, $h_r = 4,5 \text{ m}$



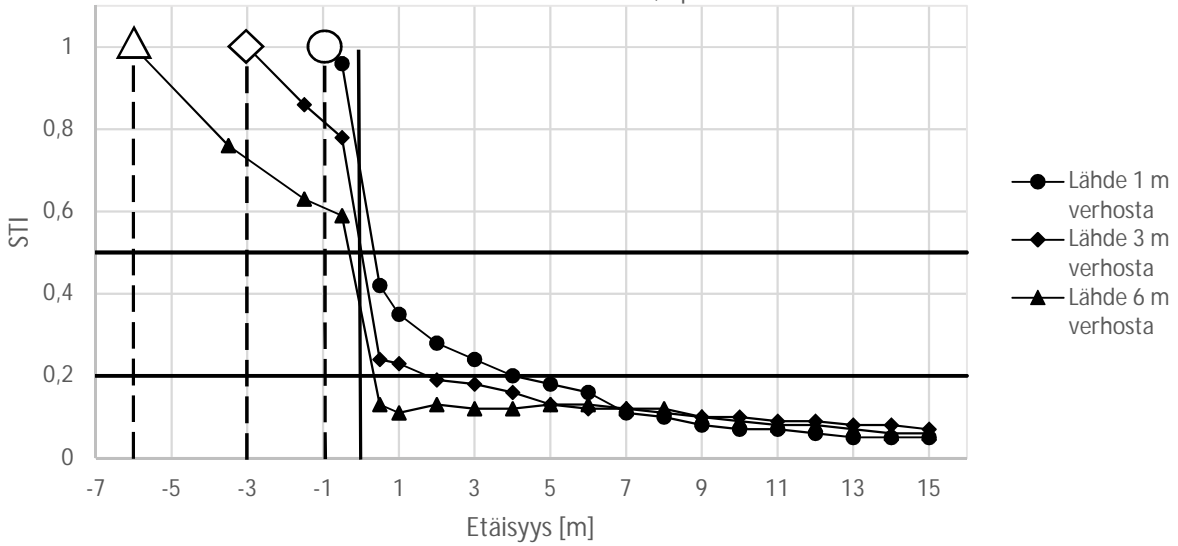
Pitkä verho, $h_c = 2,5 \text{ m}$, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 30 \text{ dB}$, $h_r = 4,5 \text{ m}$



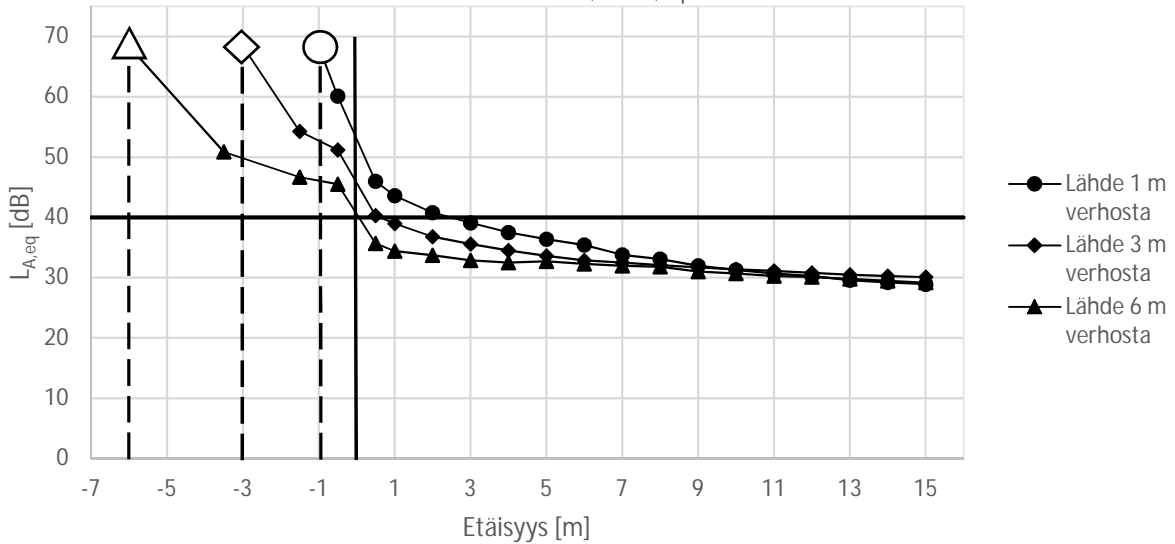
Mallinnustulokset, pitkä verho



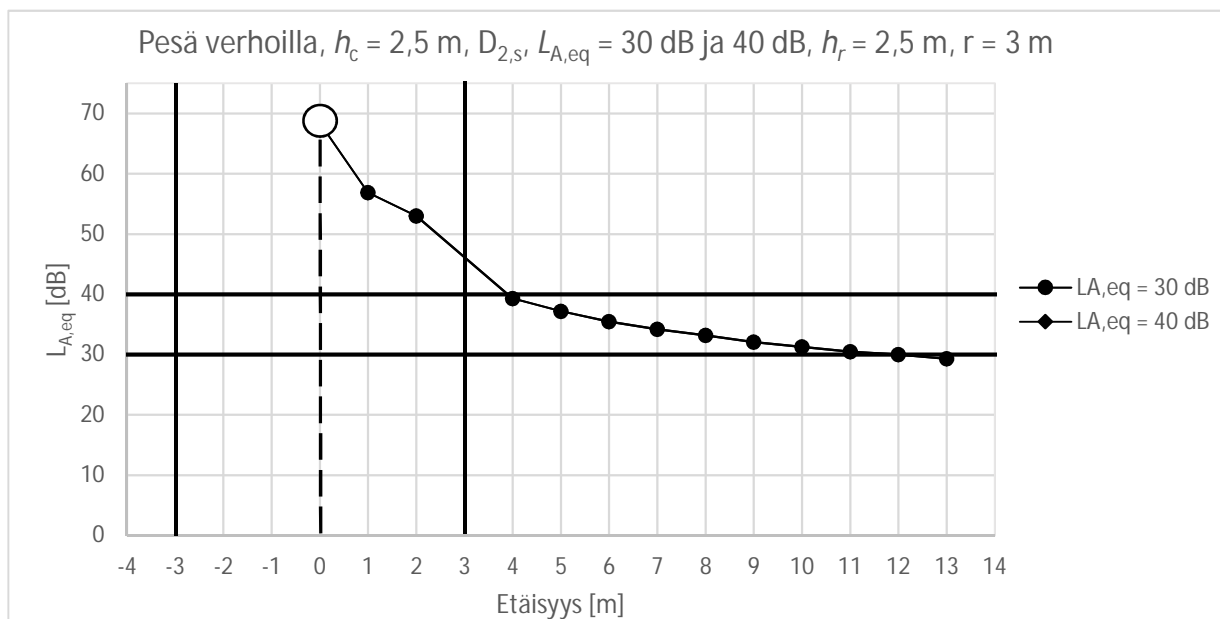
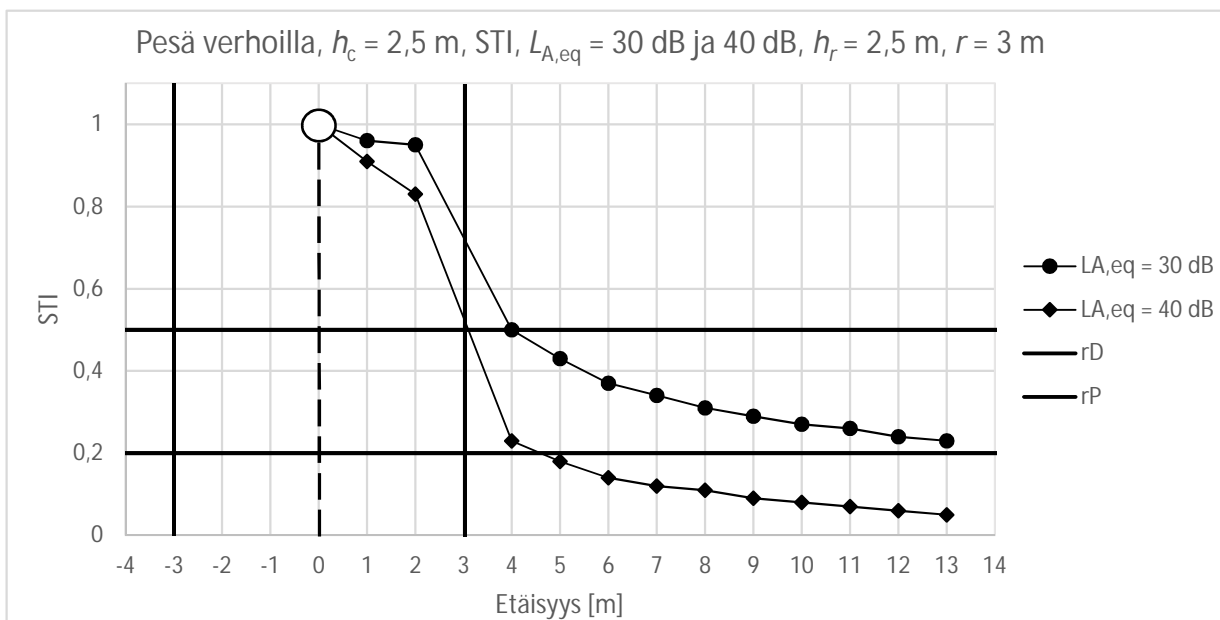
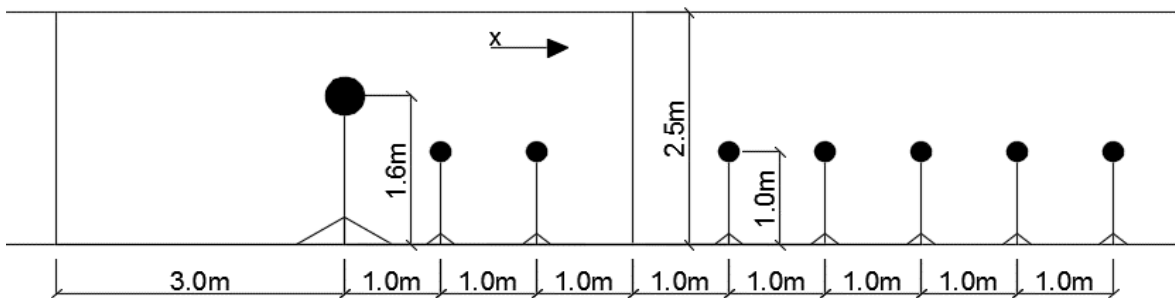
Pitkä verho, $h_c = 2,5$ m, STI, $L_{A,eq} = 40$ dB, $h_r = 4,5$ m



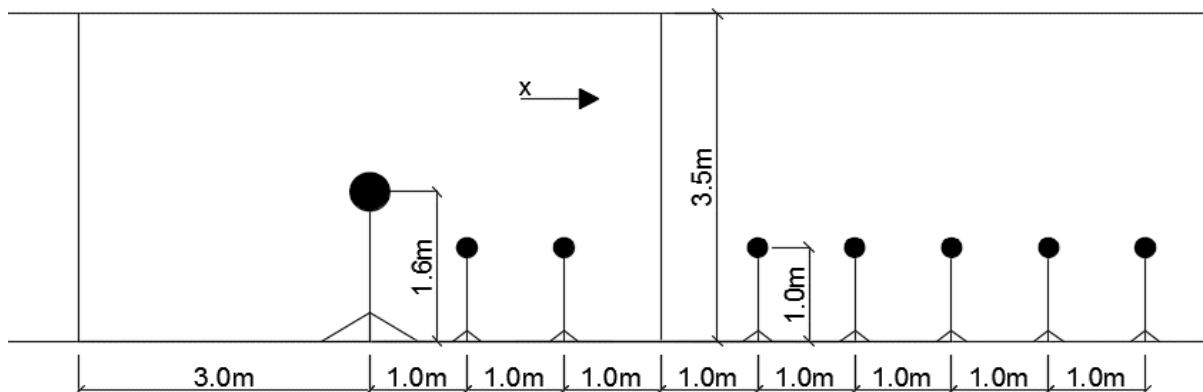
Pitkä verho, $h_c = 2,5$ m, $D_{2,S}$, $L_{A,eq} = 40$ dB, $h_r = 4,5$ m



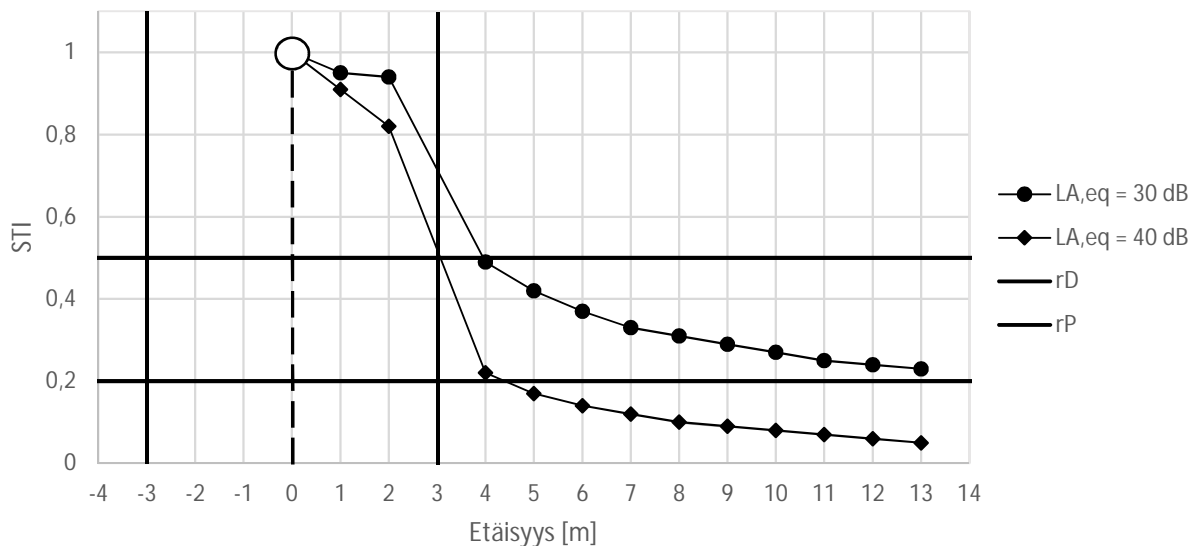
Mallinnustulokset, yksi verhottu pesä, $r = 3 \text{ m}$



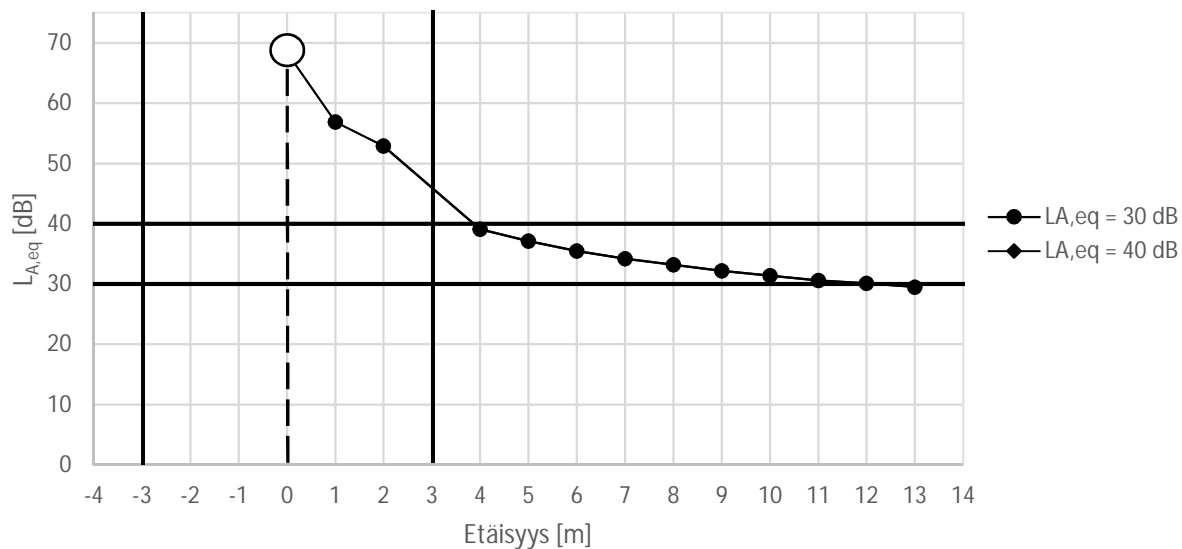
Mallinnustulokset, yksi verhottu pesä, $r = 3 \text{ m}$



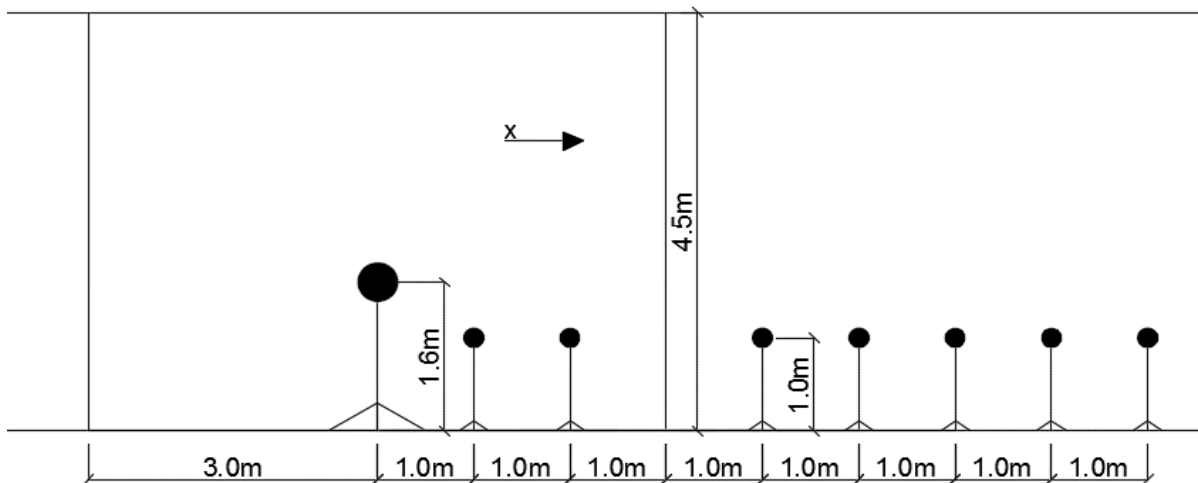
Pesä verkoilla, $h_c = 3,5 \text{ m}$, STI, $L_{A,eq} = 30 \text{ dB}$ ja 40 dB , $h_r = 3,5 \text{ m}$, $r = 3 \text{ m}$



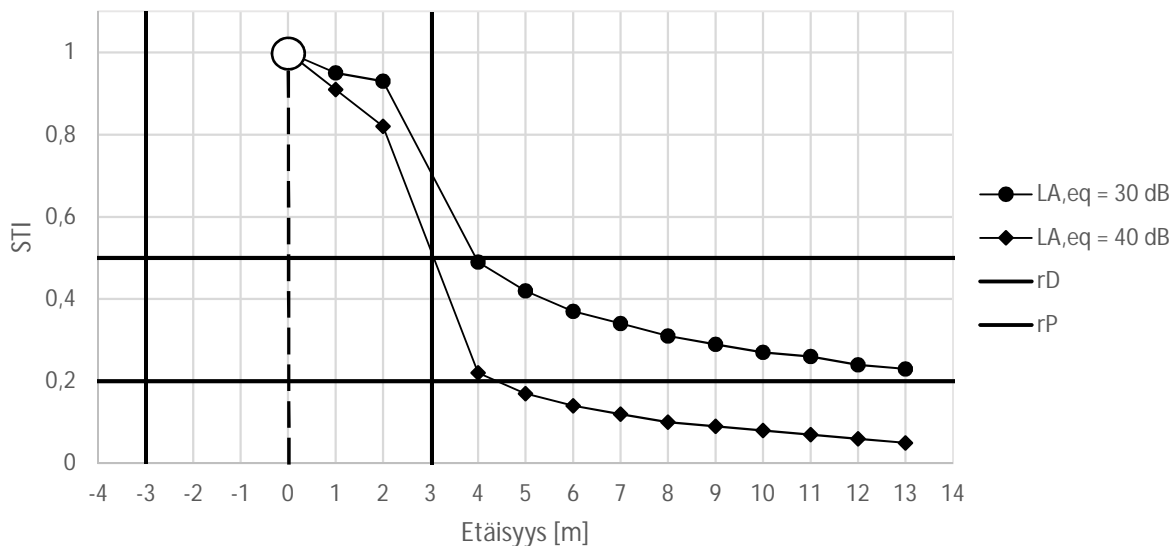
Pesä verkoilla, $h_c = 3,5 \text{ m}$, $D_{2,S}$, $L_{A,eq} = 30 \text{ dB}$ ja 40 dB , $h_r = 3,5 \text{ m}$, $r = 3 \text{ m}$



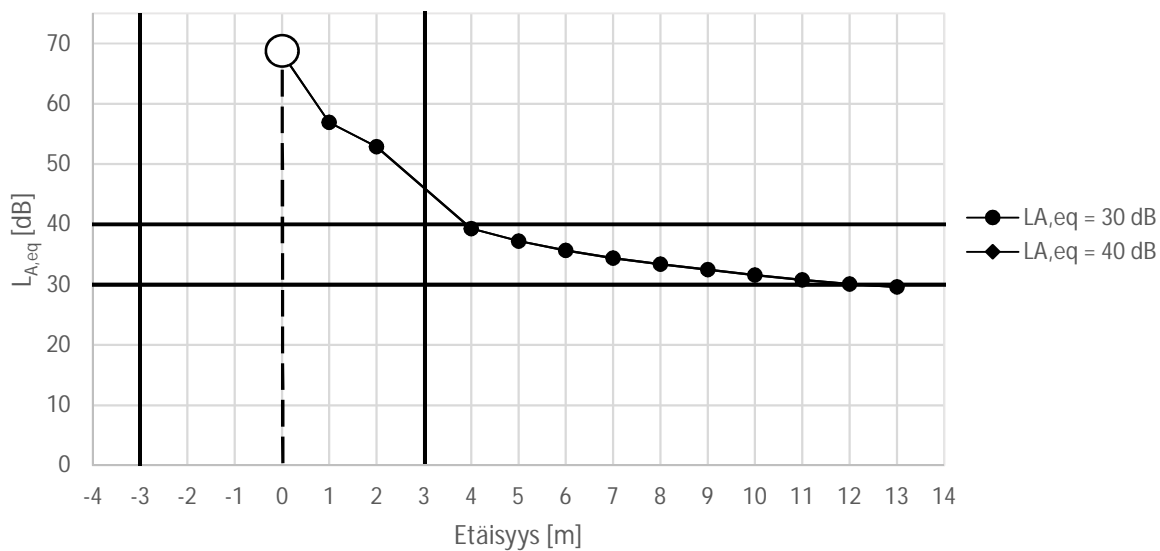
Mallinnustulokset, yksi verhottu pesä, $r = 3$ m



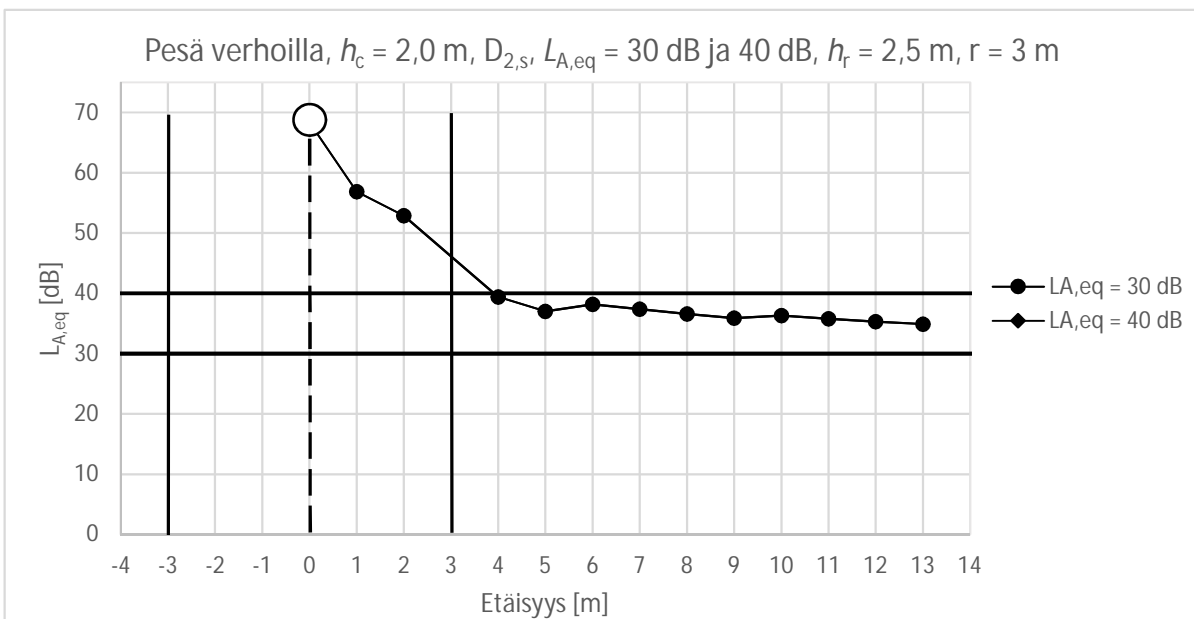
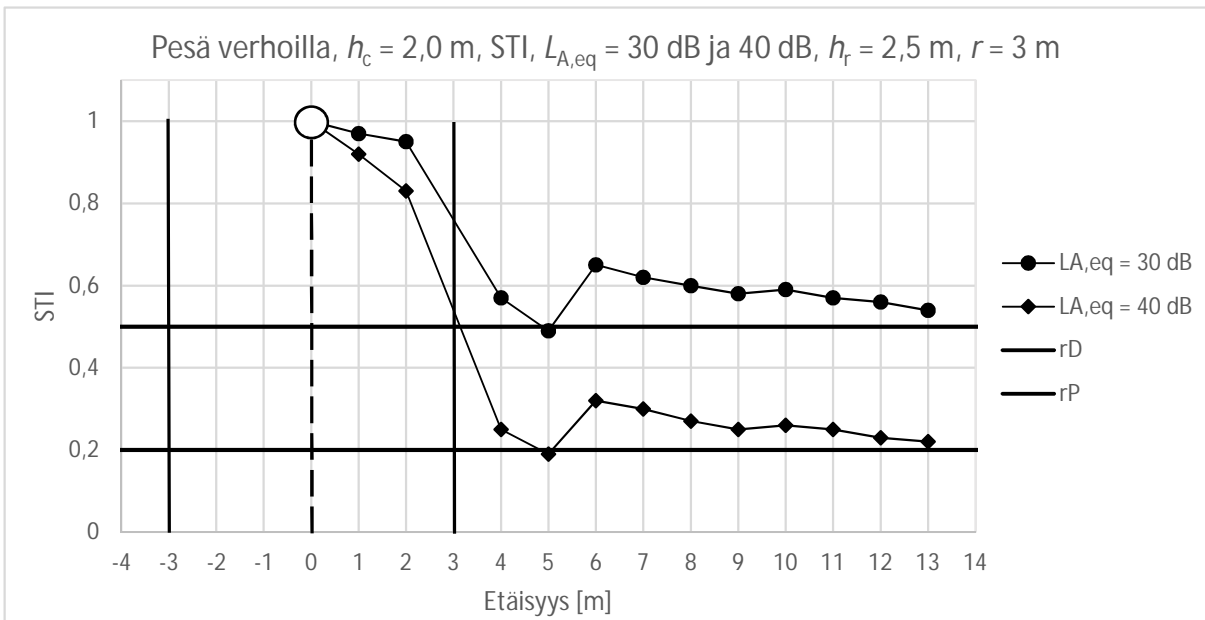
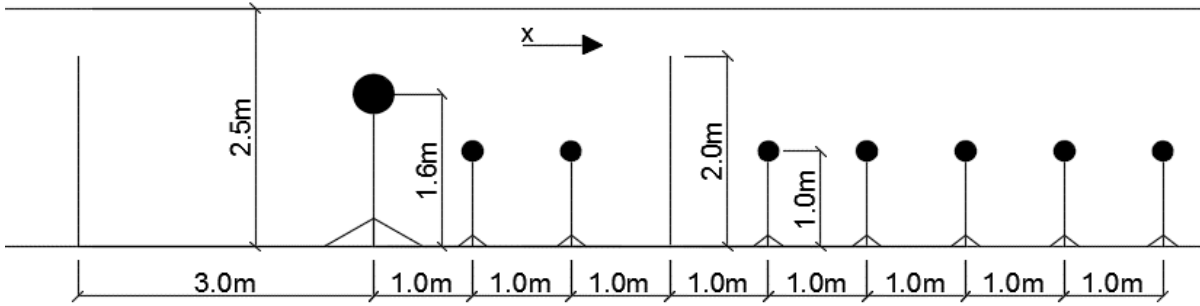
Pesä verkoilla, $h_c = 4,5$ m, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 4,5$ m, $r = 3$ m



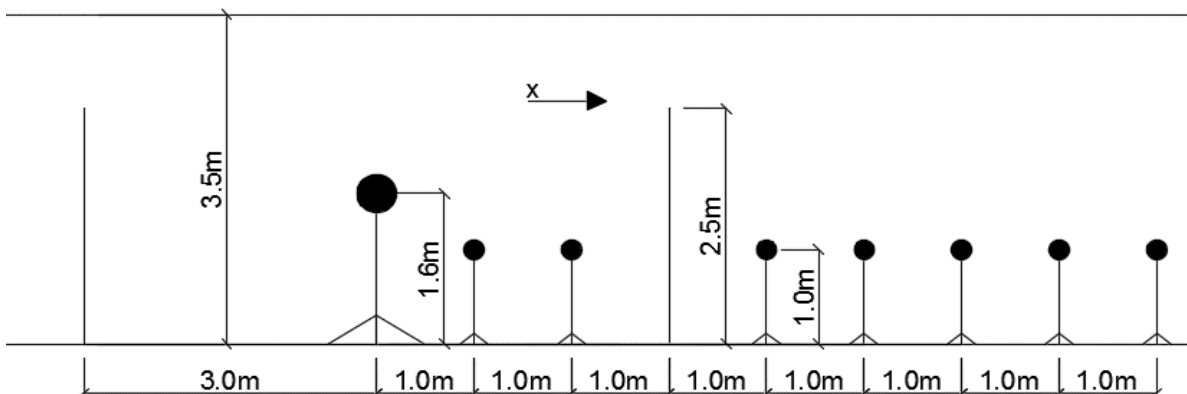
Pesä verkoilla, $h_c = 4,5$ m, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 4,5$ m, $r = 3$ m



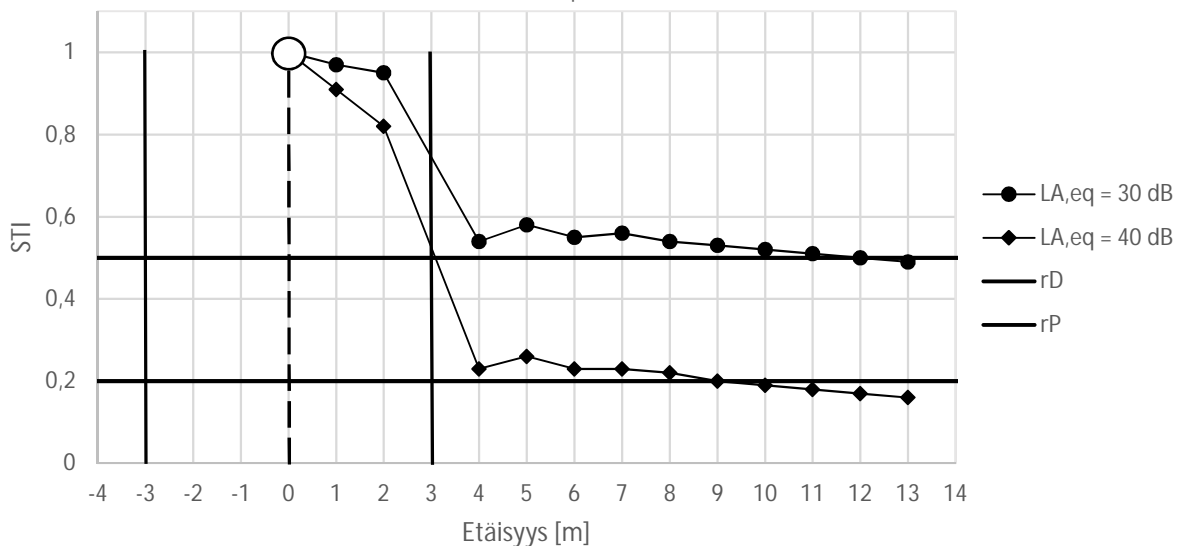
Mallinnustulokset, yksi verhottu pesä, $r = 3 \text{ m}$



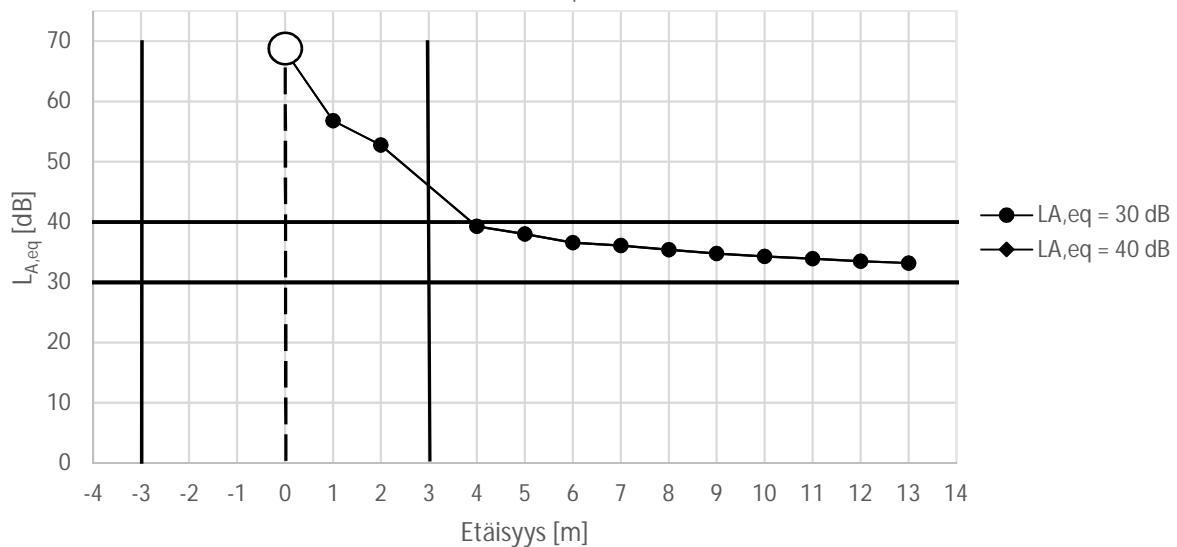
Mallinnustulokset, yksi verhottu pesä, $r = 3 \text{ m}$



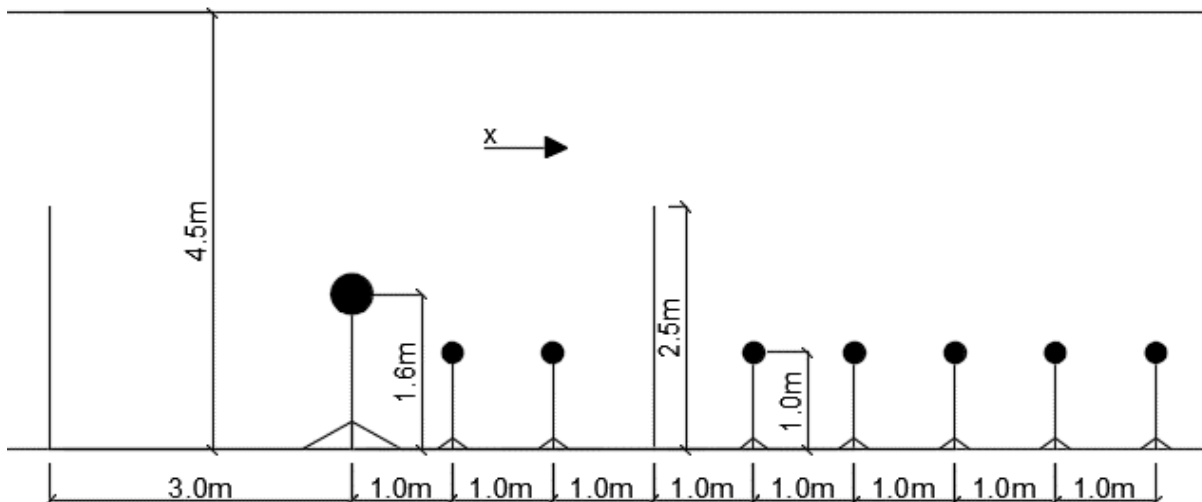
Pesä verkoilla, $h_c = 2,5 \text{ m}$, STI, $L_{A,eq} = 30 \text{ dB}$ ja 40 dB , $h_r = 3,5 \text{ m}$, $r = 3 \text{ m}$



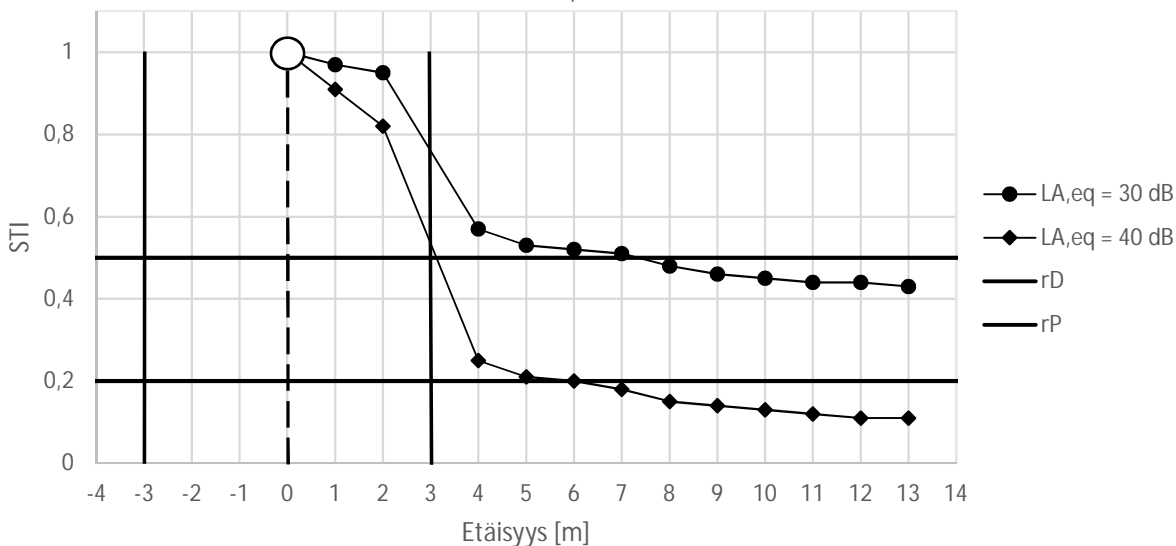
Pesä verkoilla, $h_c = 2,5 \text{ m}$, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 30 \text{ dB}$ ja 40 dB , $h_r = 3,5 \text{ m}$, $r = 3 \text{ m}$



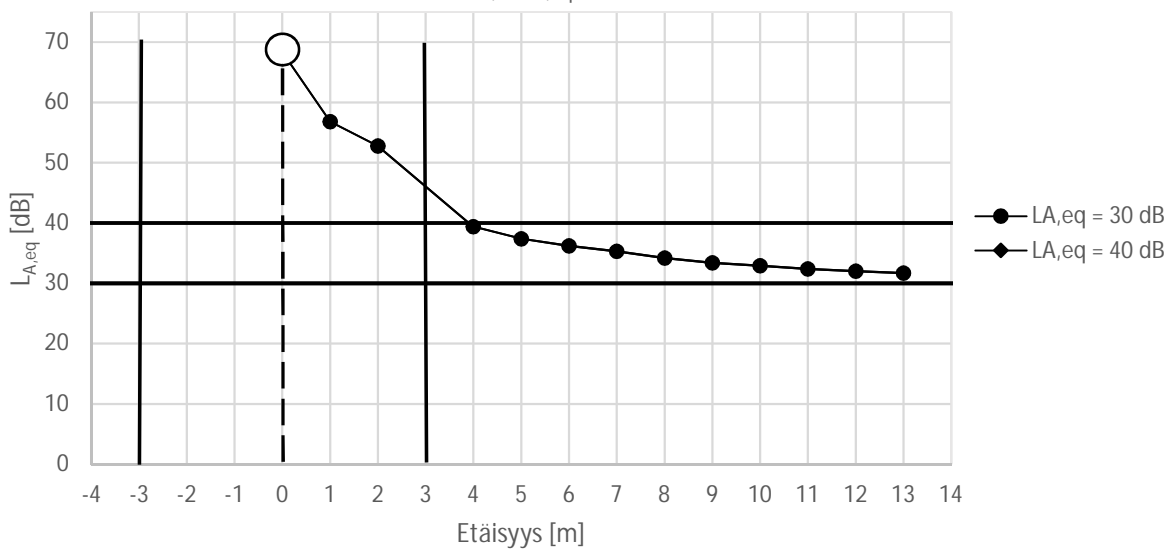
Mallinnustulokset, yksi verhottu pesä, $r = 3 \text{ m}$



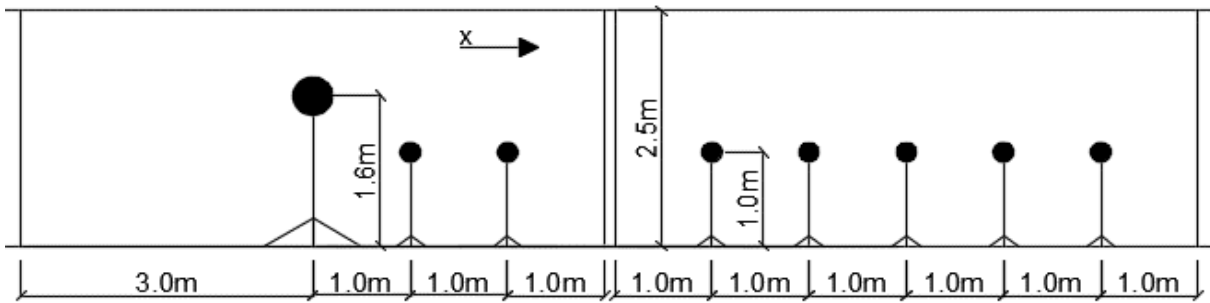
Pesä verhoilla, $h_c = 2,5 \text{ m}$, STI, $L_{A,eq} = 30 \text{ dB}$ ja 40 dB , $h_r = 4,5 \text{ m}$, $r = 3 \text{ m}$



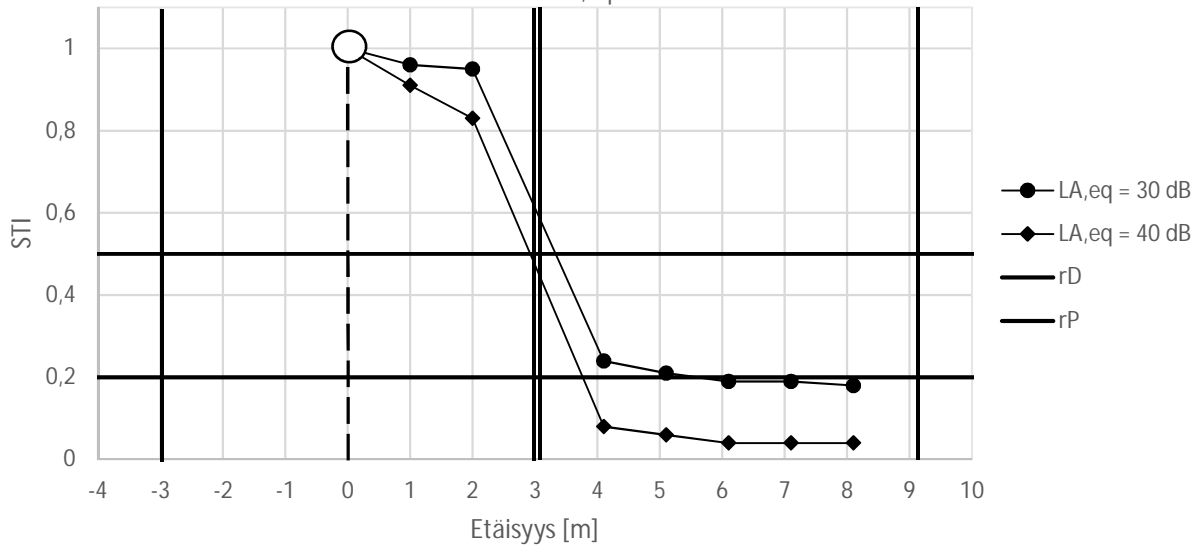
Pesä verhoilla, $h_c = 2,5 \text{ m}$, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 30 \text{ dB}$ ja 40 dB , $h_r = 4,5 \text{ m}$, $r = 3 \text{ m}$



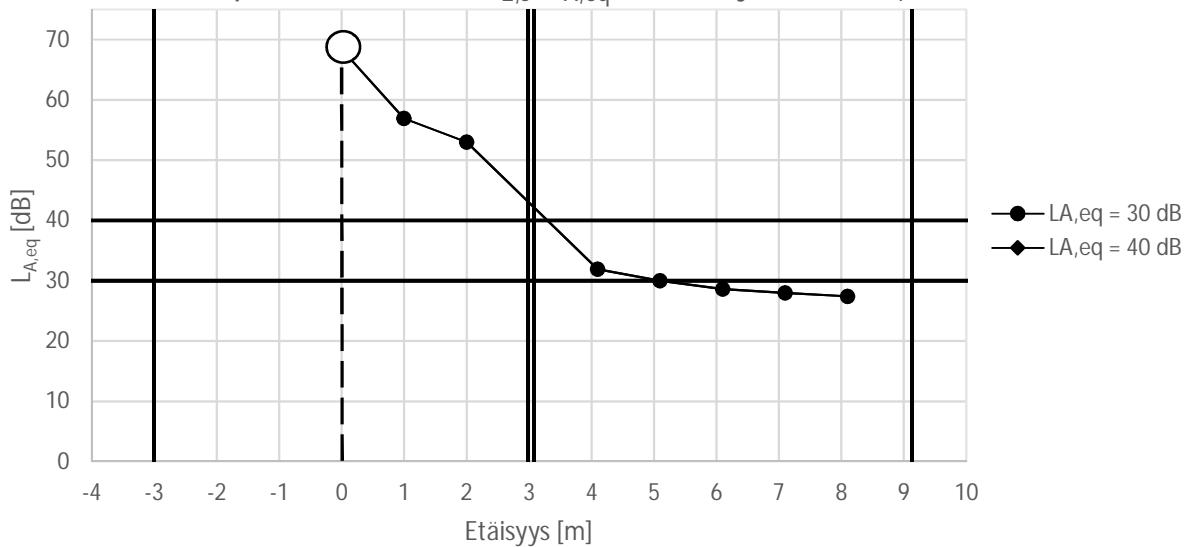
Mallinnustulokset, kaksi verhoilla ympäröityä opetuspesää



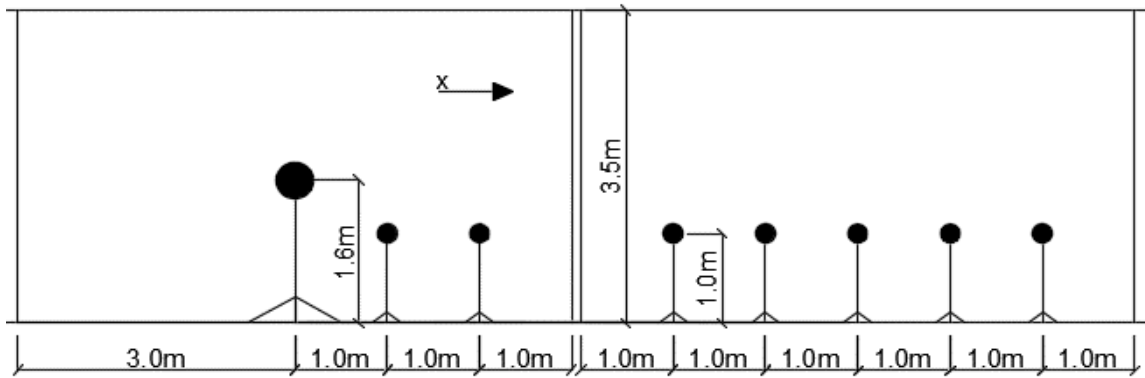
Kaksi pesää verhoilla, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 2,5$ m



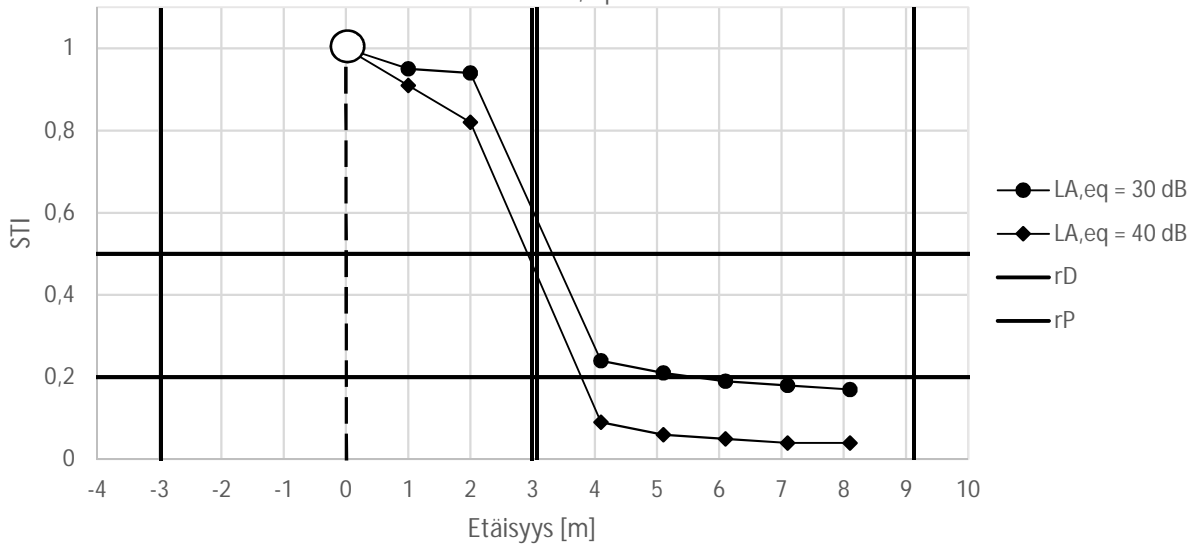
Kaksi pesää verhoilla, $D_{2,S}$, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 2,5$ m



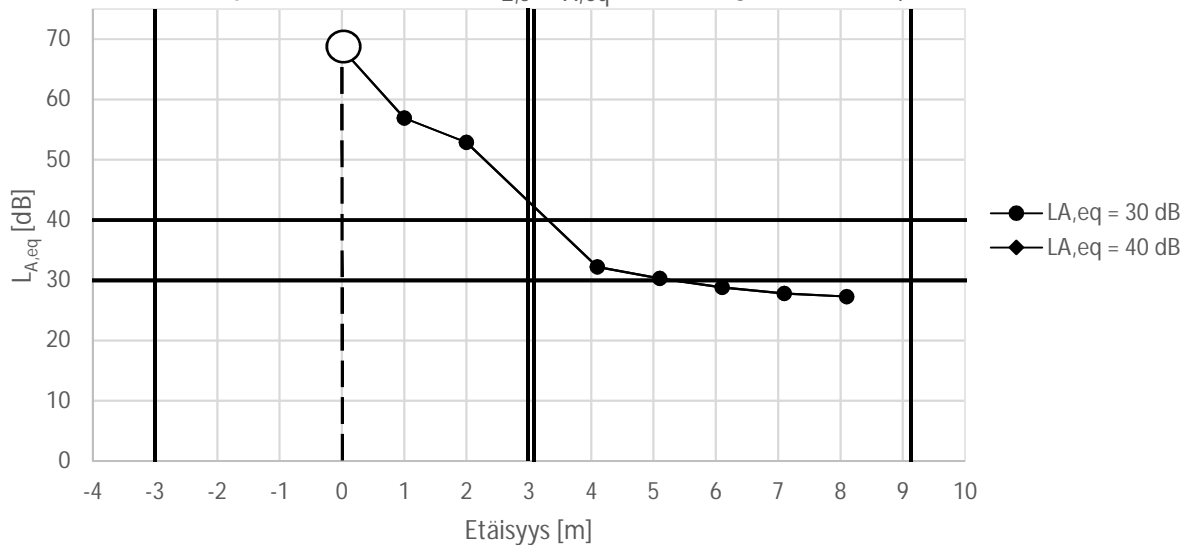
Mallinnustulokset, kaksi verhoilla ympäröityä opetuspesää



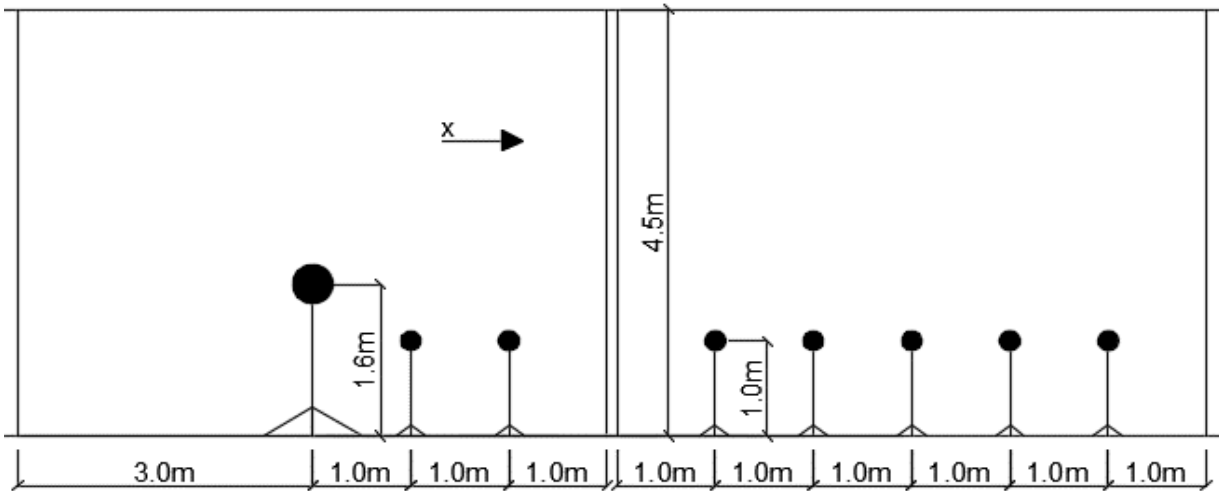
Kaksi pesää verhoilla, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 3,5$ m



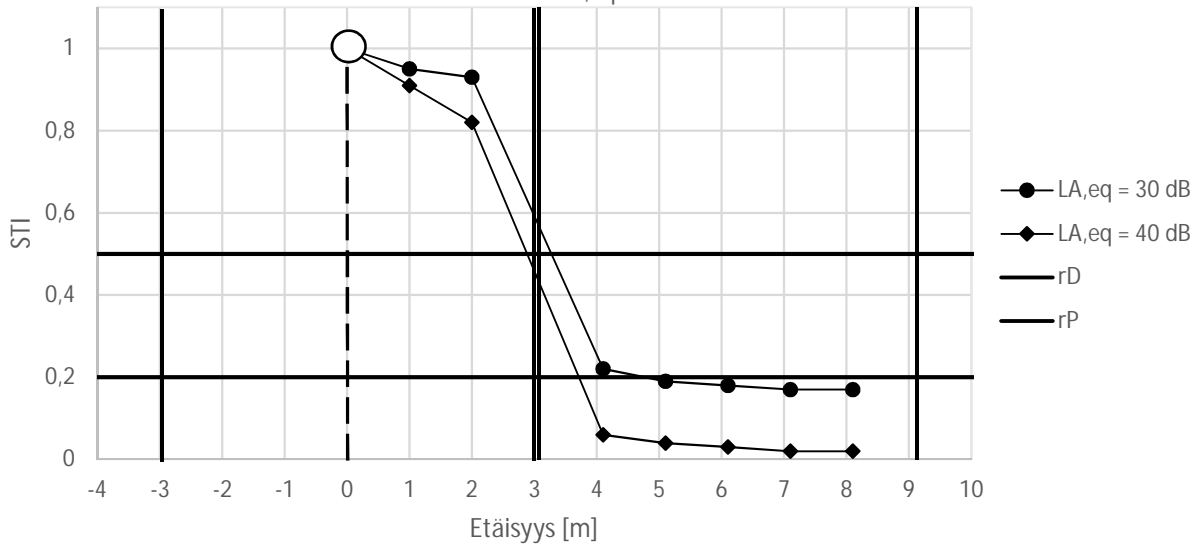
Kaksi pesää verhoilla, $D_{2,S}$, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 3,5$ m



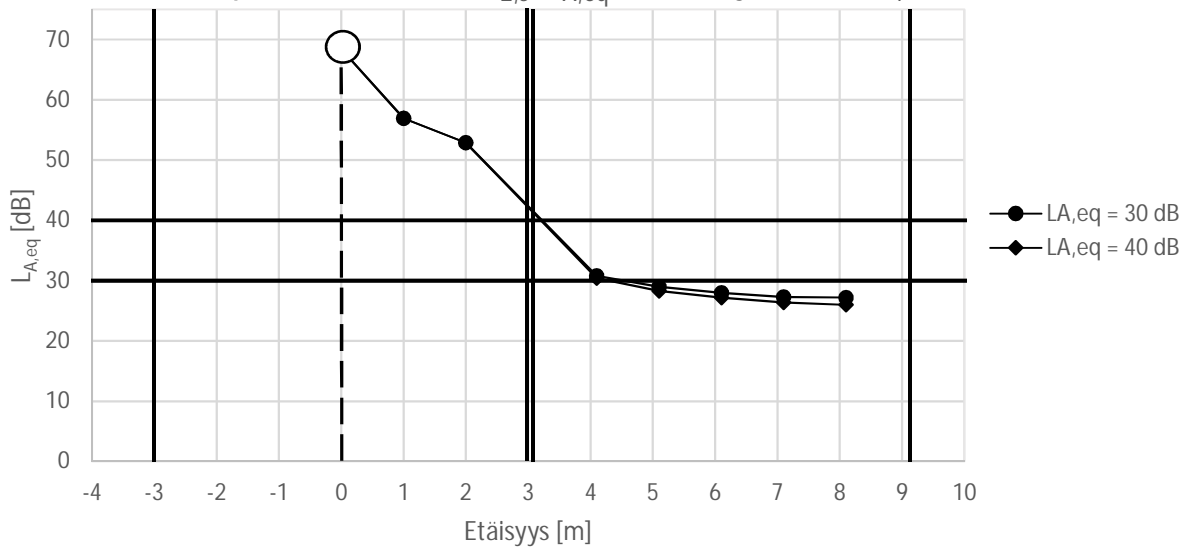
Mallinnustulokset, kaksi verhoilla ympäröityä opetuspesää



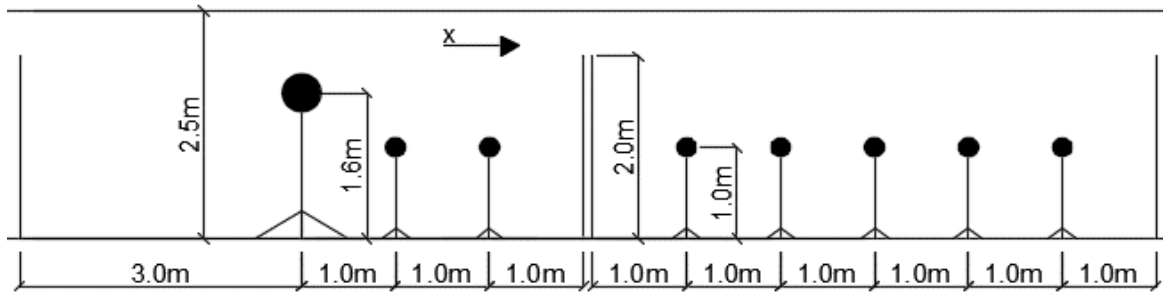
Kaksi pesää verhoilla, STI , $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h = 4,5$ m



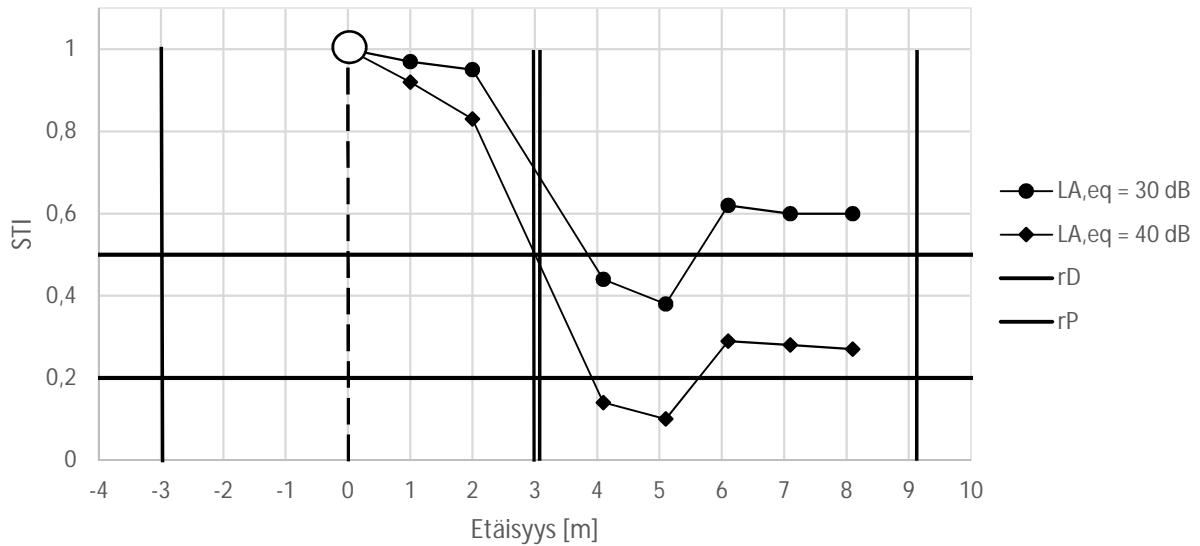
Kaksi pesää verhoilla, $D_{2,S}$, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 4,5$ m



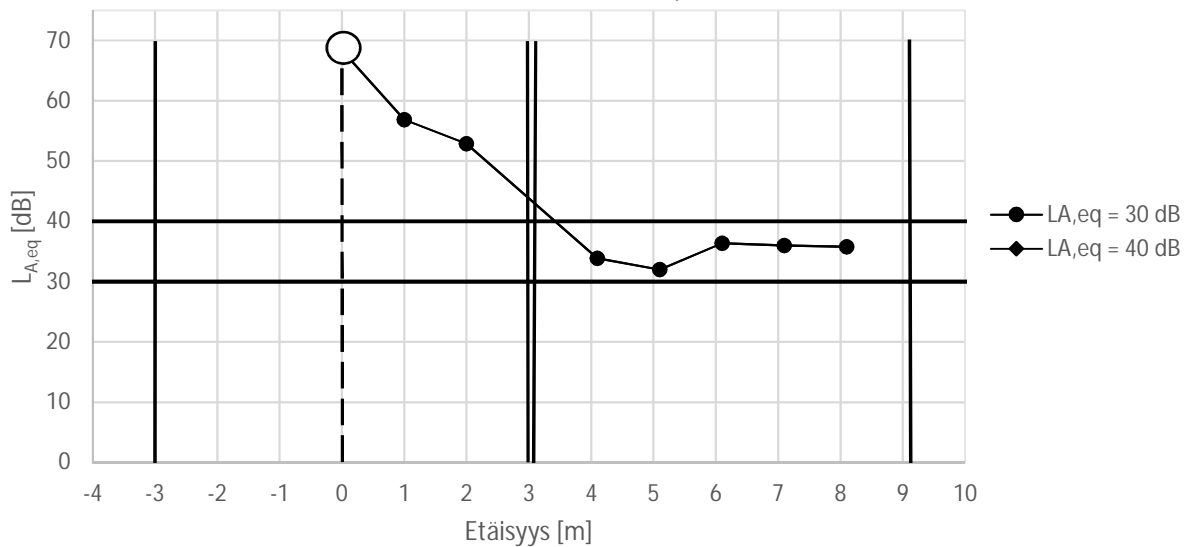
Mallinnustulokset, kaksi verhoilla ympäröityä opetuspesää



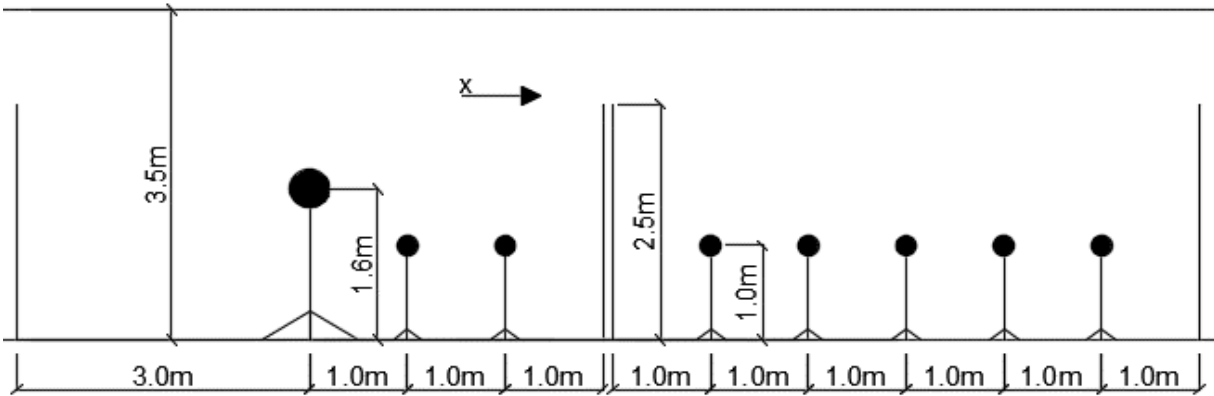
Kaksi pesää verhoilla, $h_c = 2,0$ m, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 2,5$ m



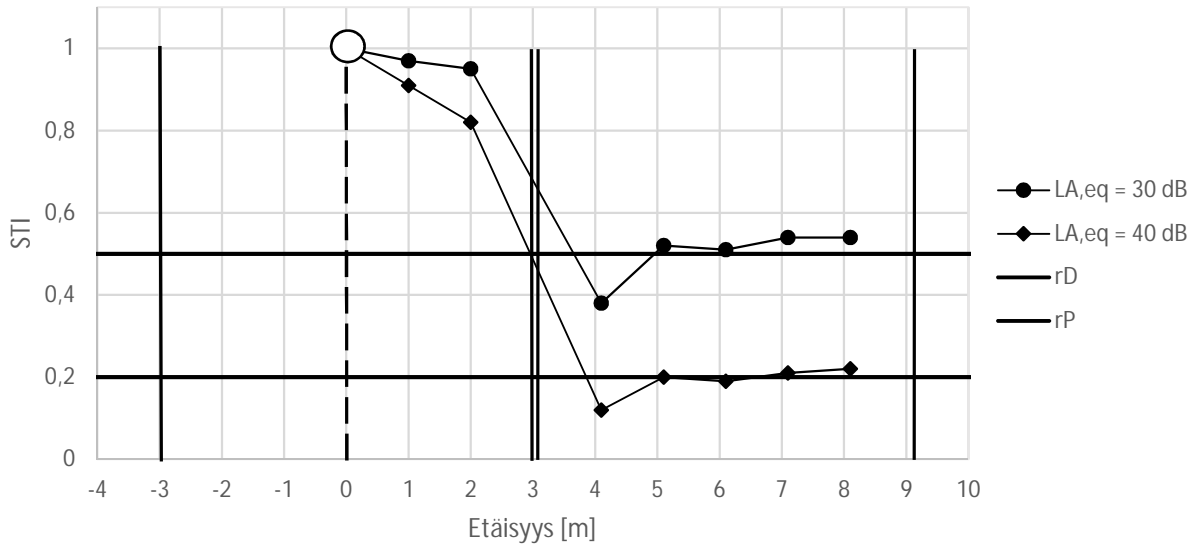
Kaksi pesää verhoilla, $h_c = 2,0$ m, $D_{2,S}$, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 2,5$ m



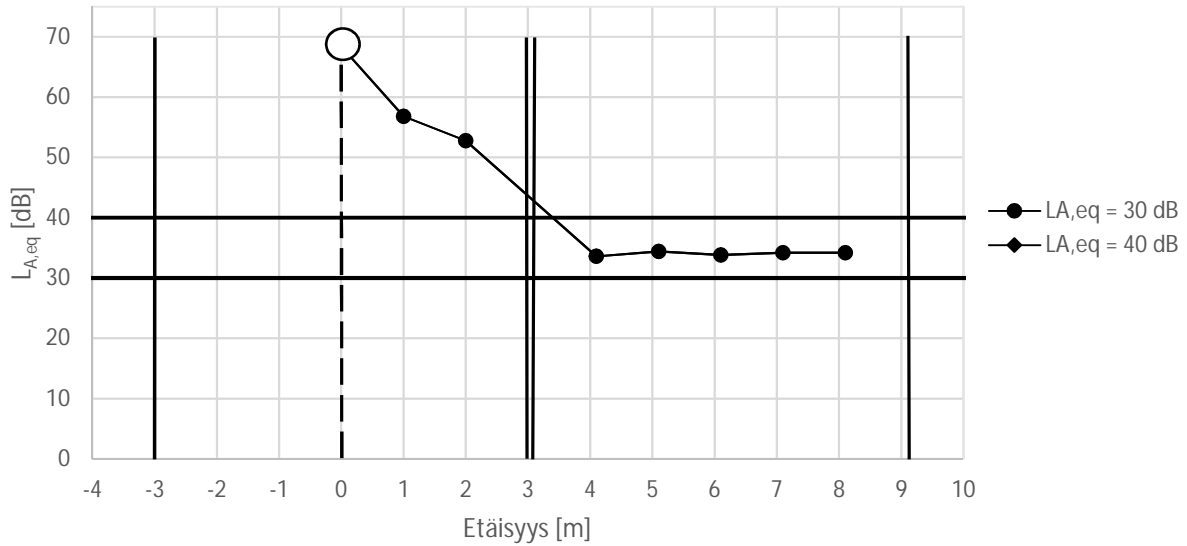
Mallinnustulokset, kaksi verhoilla ympäröityä opetuspesää



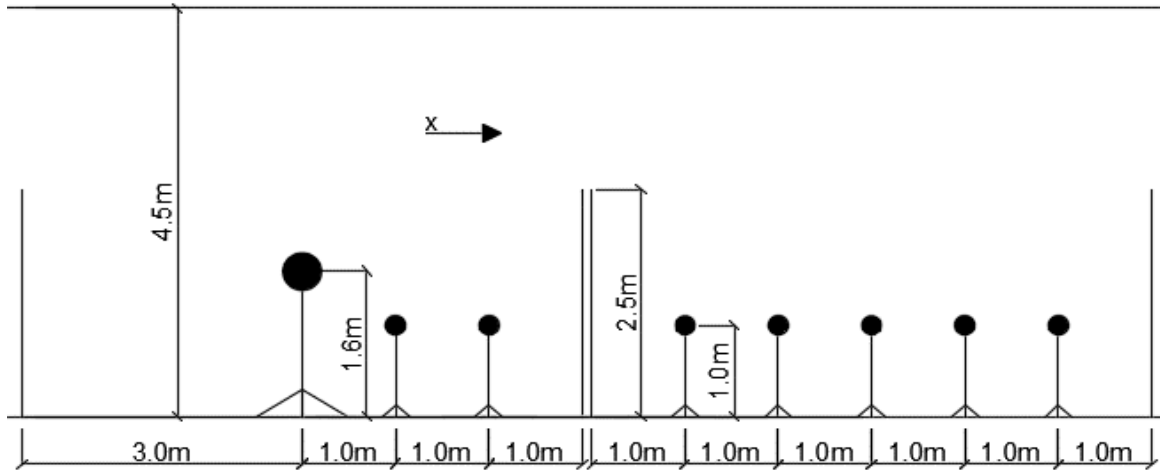
Kaksi pesää verhoilla, $h_c = 2,5$ m, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 3,5$ m



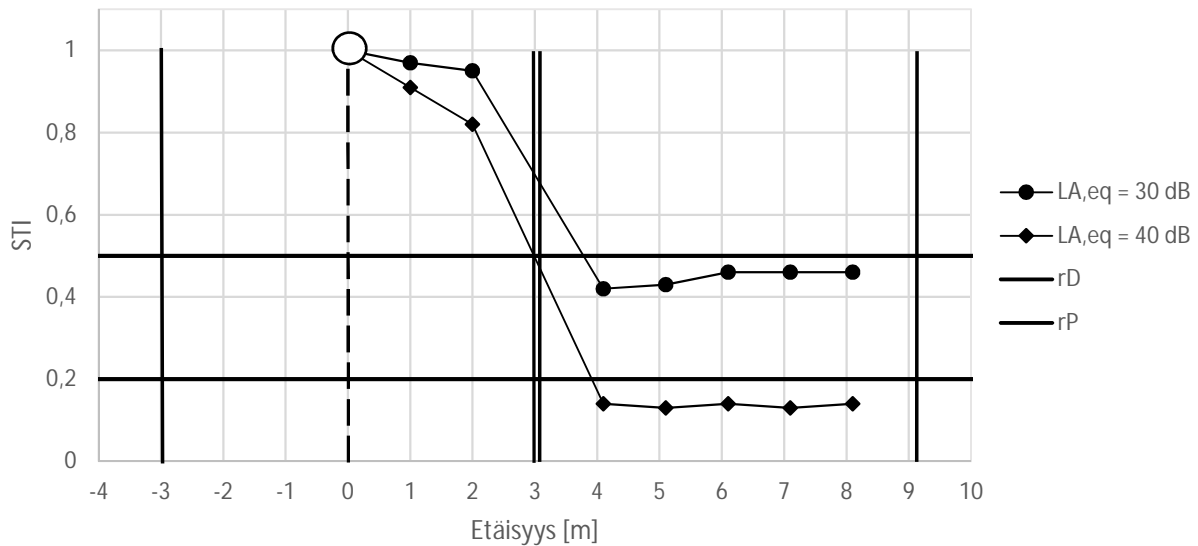
Kaksi pesää verhoilla, $h_c = 2,5$ m, $D_{2,S}$, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 3,5$ m



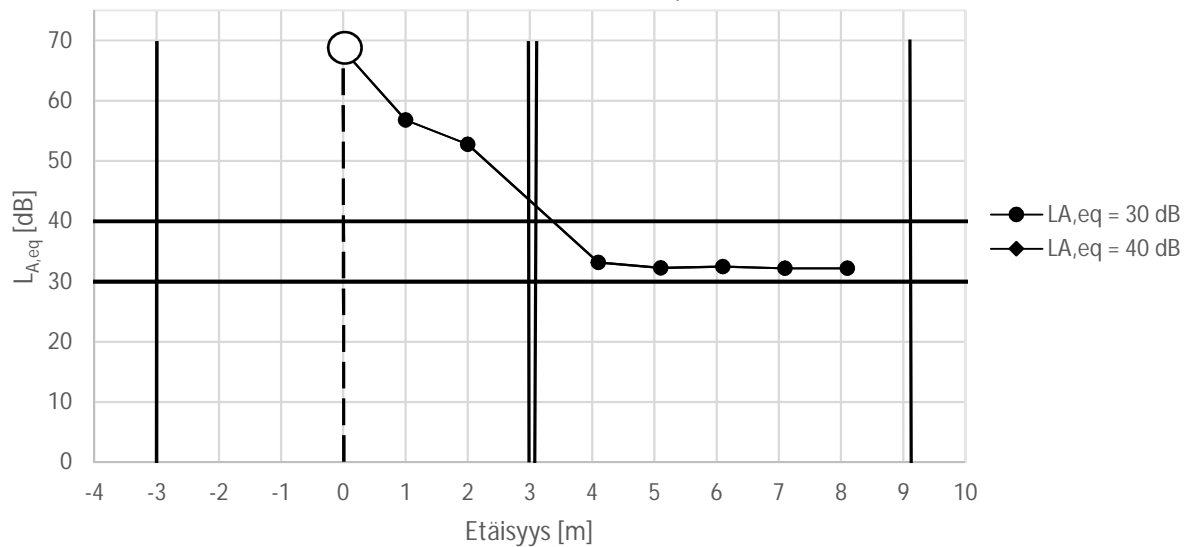
Mallinnustulokset, kaksi verhoilla ympäröityä opetuspesää



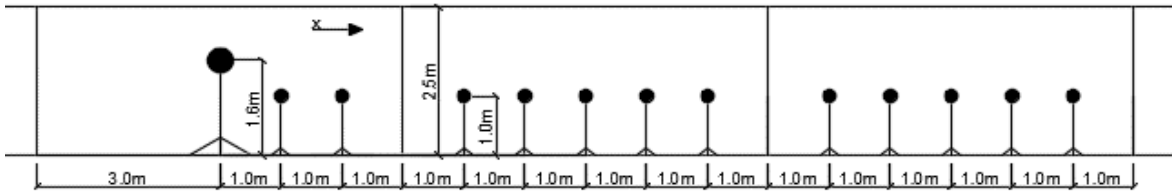
Kaksi pesää verhoilla, $h_c = 2,5$ m, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 4,5$ m



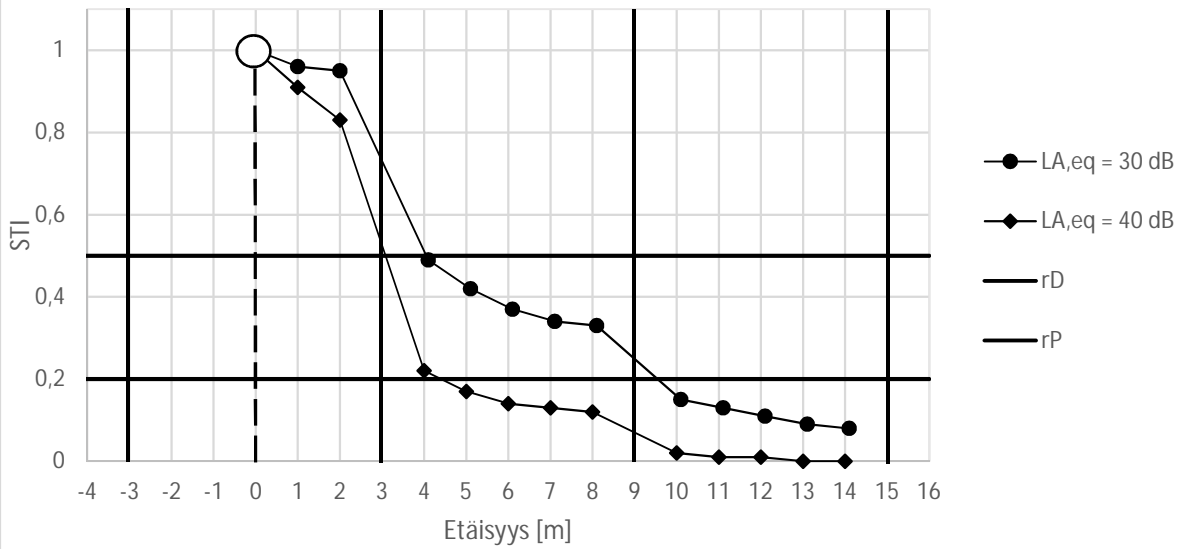
Kaksi pesää verhoilla, $h_c = 2,5$ m, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 4,5$ m



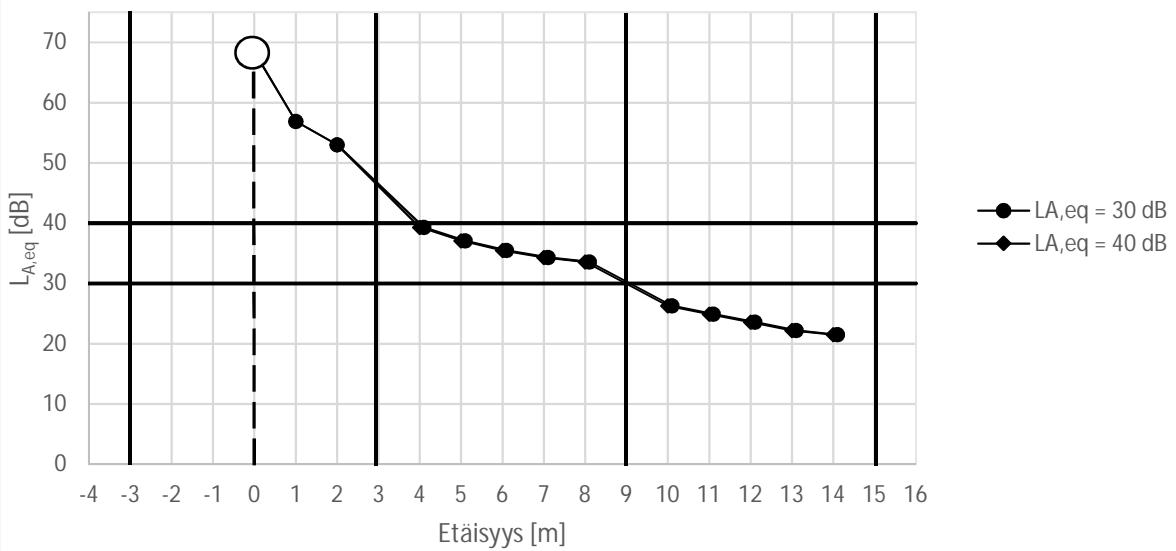
Mallinnustulokset, kaksi verhoilla ympäröityä opetuspesää



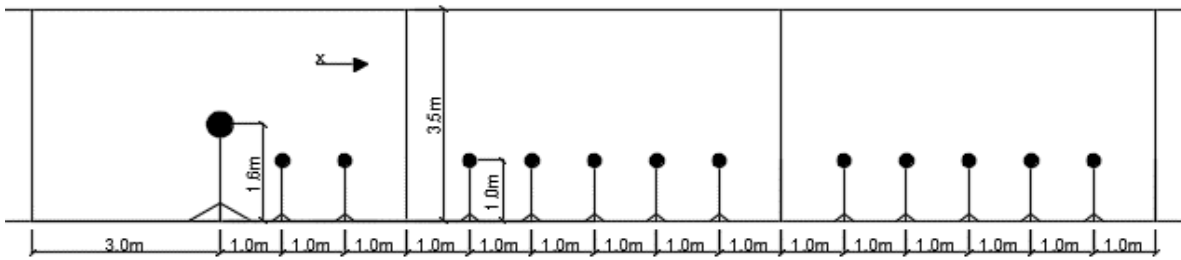
Kaksi pesää verhoilla, STI, $h_c = 2,5$ m, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 2,5$ m



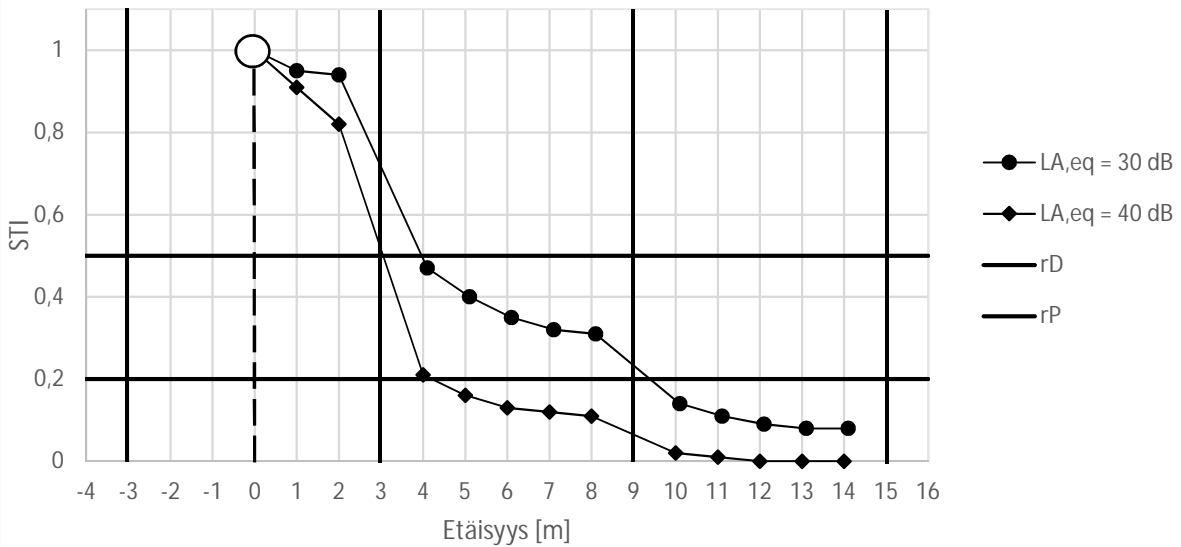
Kaksi pesää verhoilla, $D_{2,S}$, $h_c = 2,5$ m, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 2,5$ m



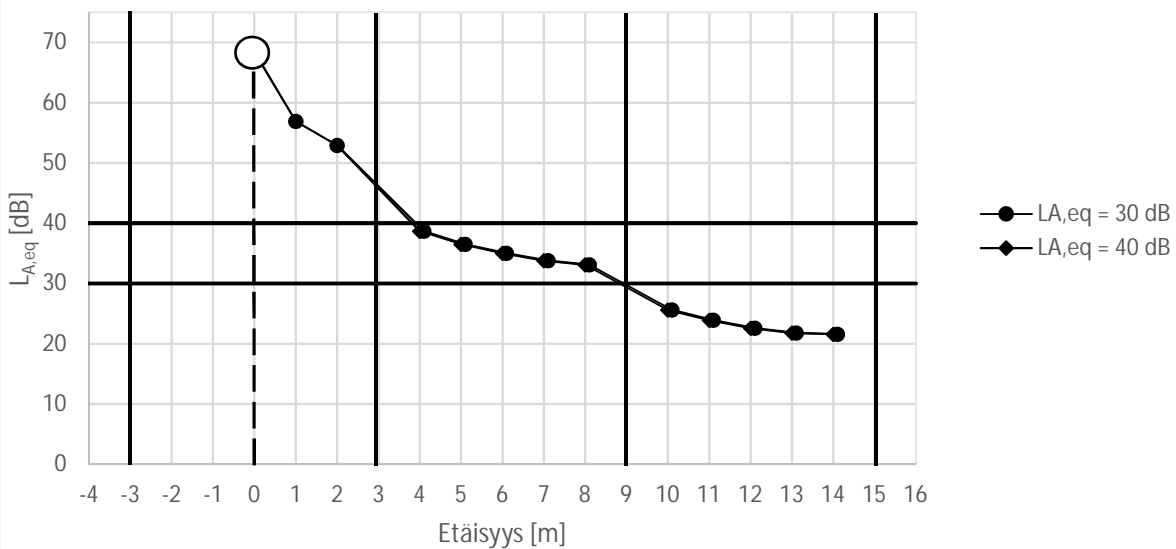
Mallinnustulokset, kaksi verhoilla ympäröityä opetuspesää



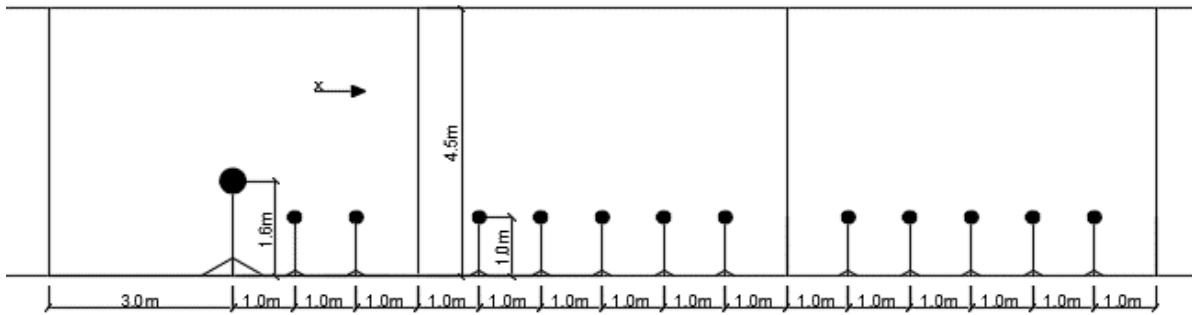
Kaksi pesää verhoilla, STI, $h_c = 3,5$ m, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 3,5$ m



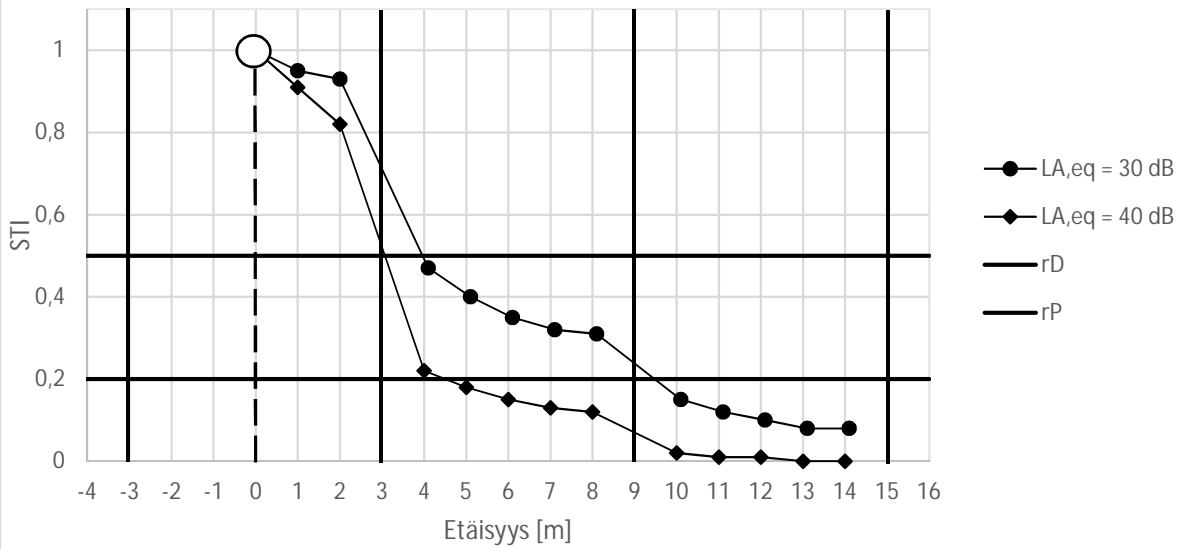
Kaksi pesää verhoilla, $D_{2,S}$, $h_c = 3,5$ m, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 3,5$ m



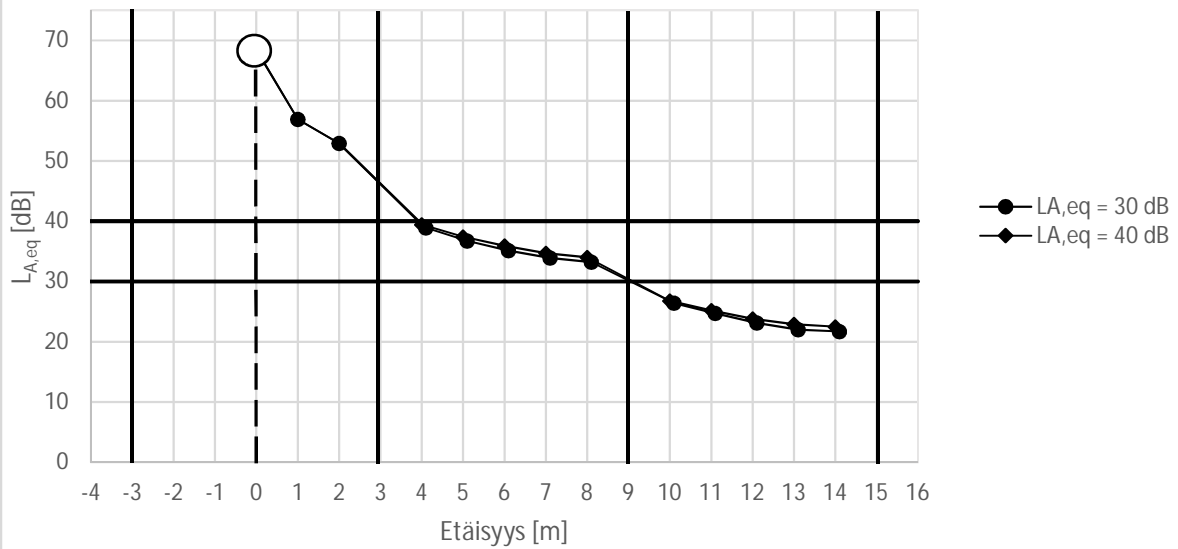
Mallinnustulokset, kaksi verhoilla ympäröityä opetuspesää



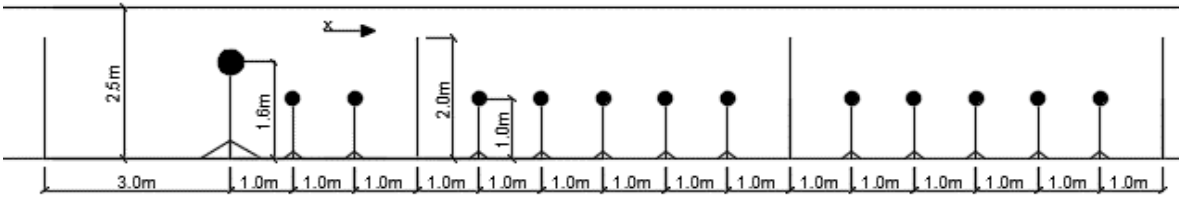
Kaksi pesää verhoilla, STI, $h_c = 4,5$ m, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 4,5$ m



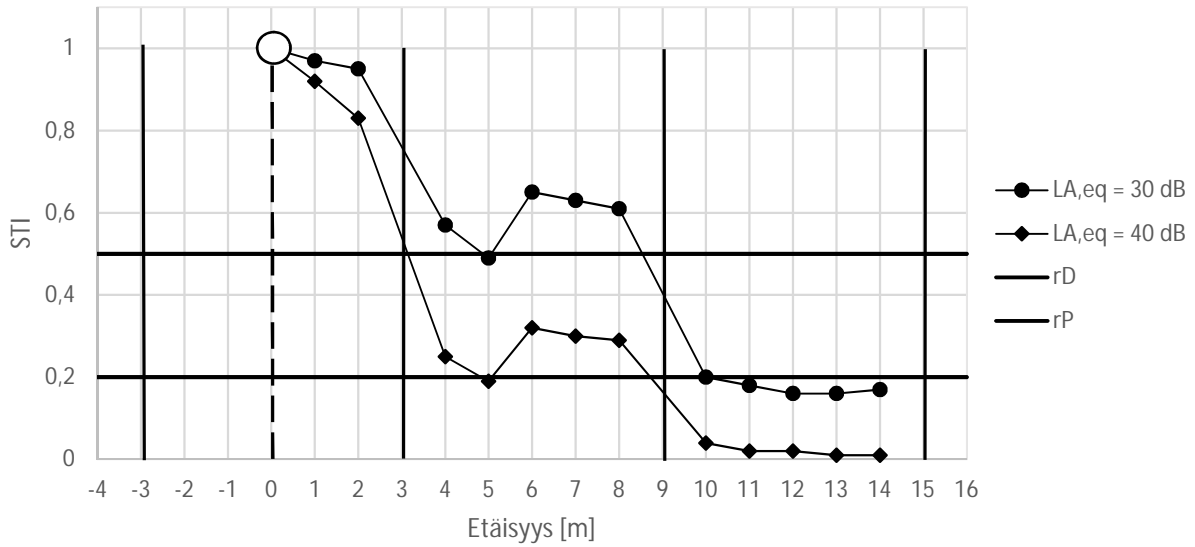
Kaksi pesää verhoilla, $D_{2,Sr}$, $h_c = 4,5$ m, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 4,5$ m



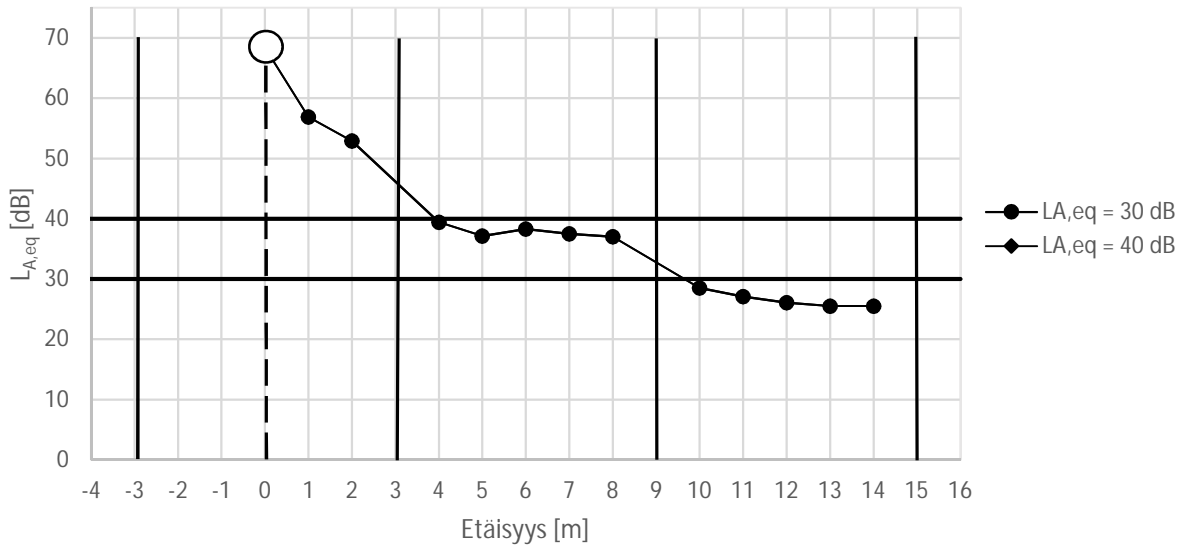
Mallinnustulokset, kaksi verhoilla ympäröityä opetuspesää



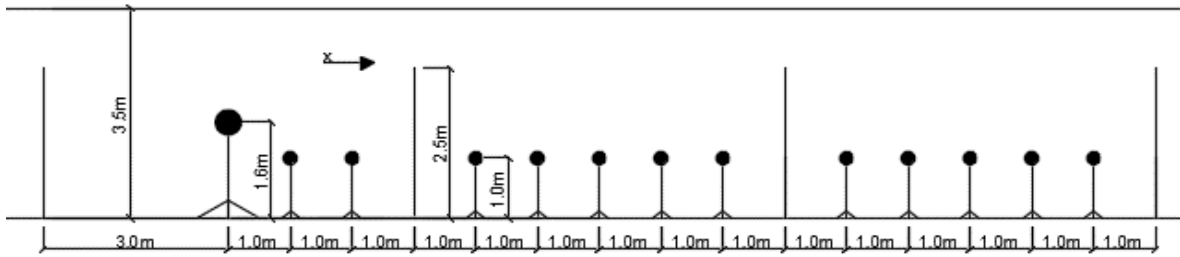
Kaksi pesää verhoilla, $h_c = 2,0$ m, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 2,5$ m



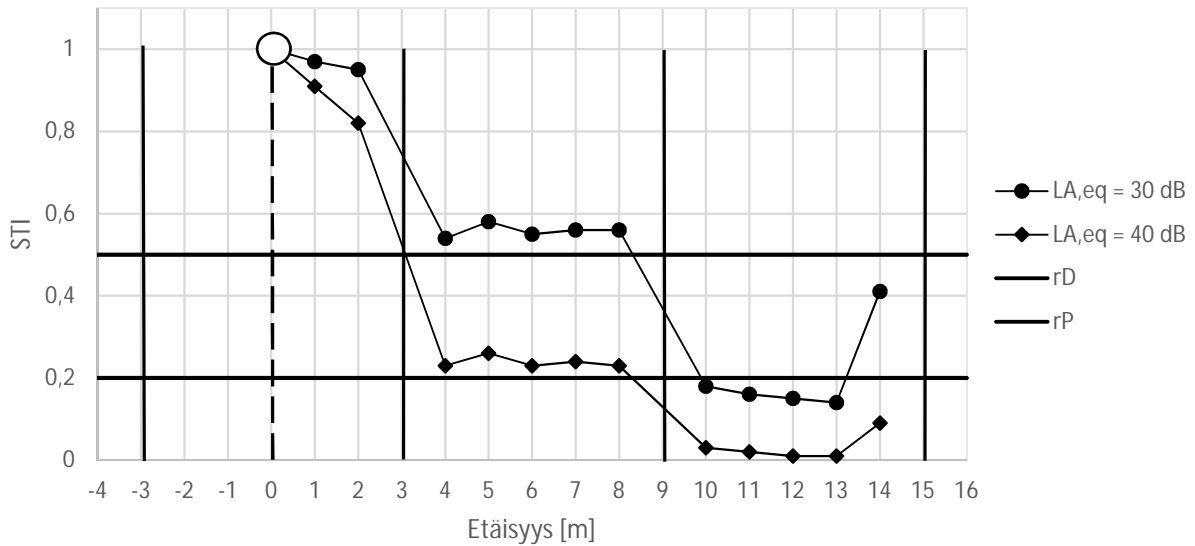
Kaksi pesää verhoilla, $h_c = 2,0$ m, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 2,5$ m



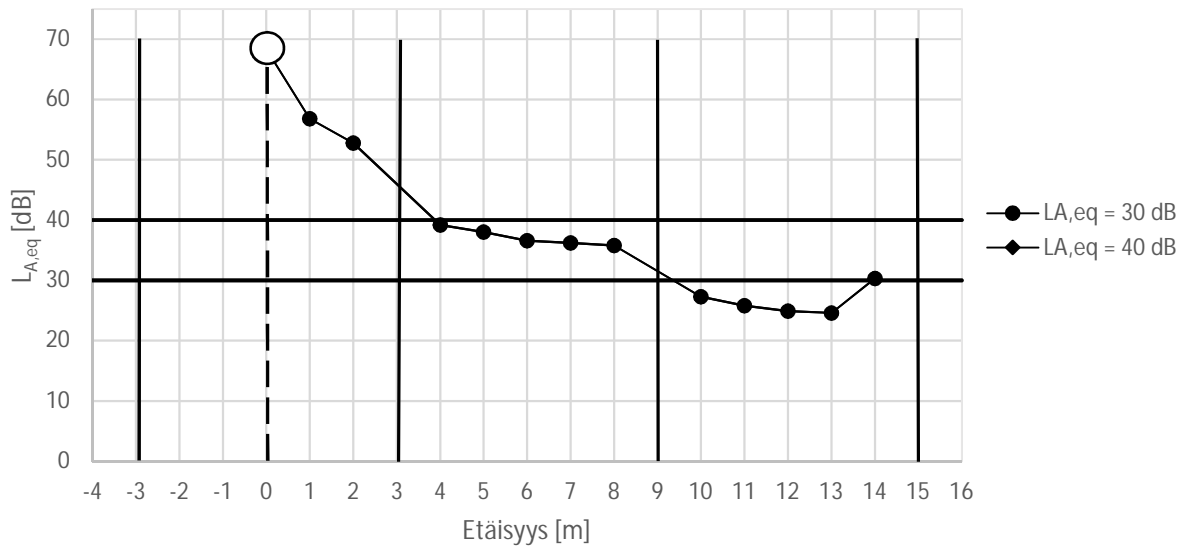
Mallinnustulokset, kaksi verhoilla ympäröityä opetuspesää



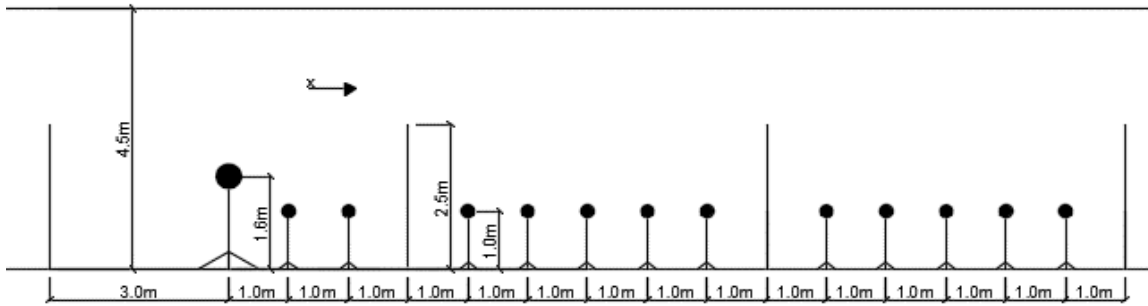
Kaksi pesää verhoilla, $h_c = 2,5$ m, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 3,5$ m



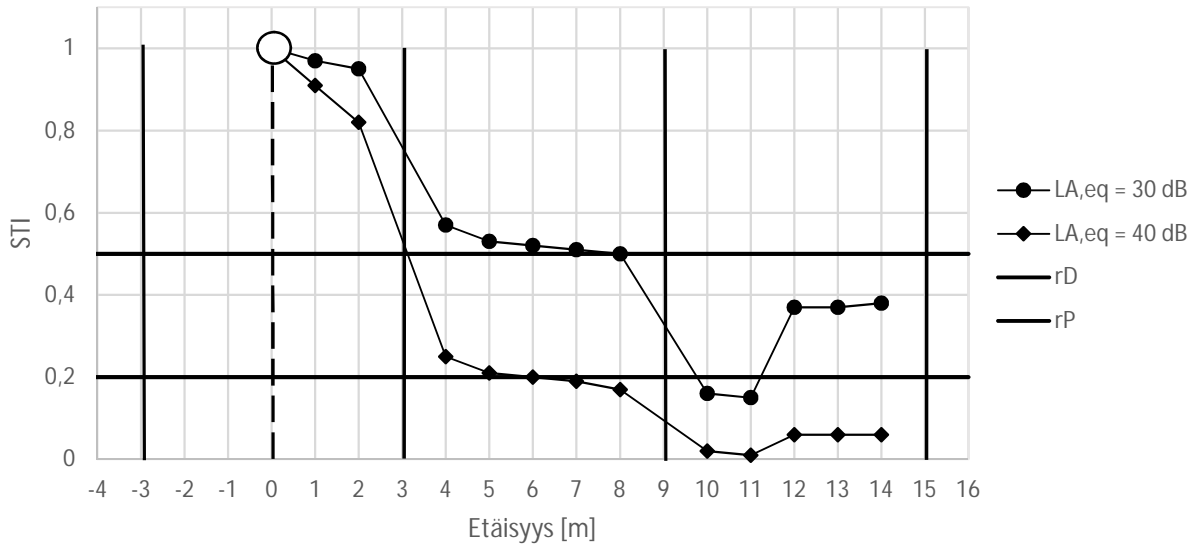
Kaksi pesää verhoilla, $h_c = 2,5$ m, $D_{2,S}$, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 3,5$ m



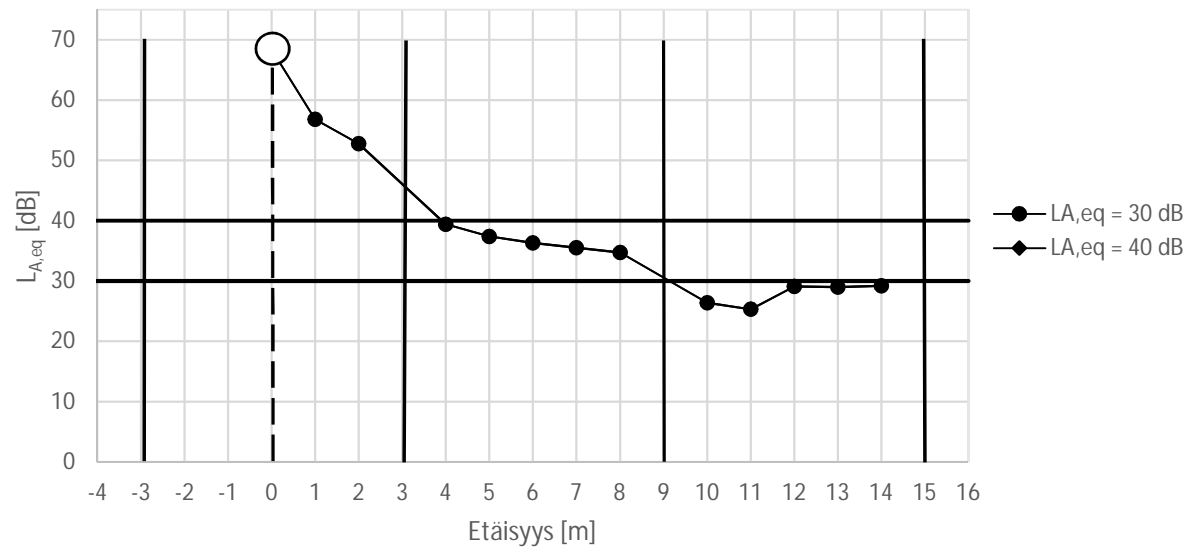
Mallinnustulokset, kaksi verhoilla ympäröityä opetuspesää



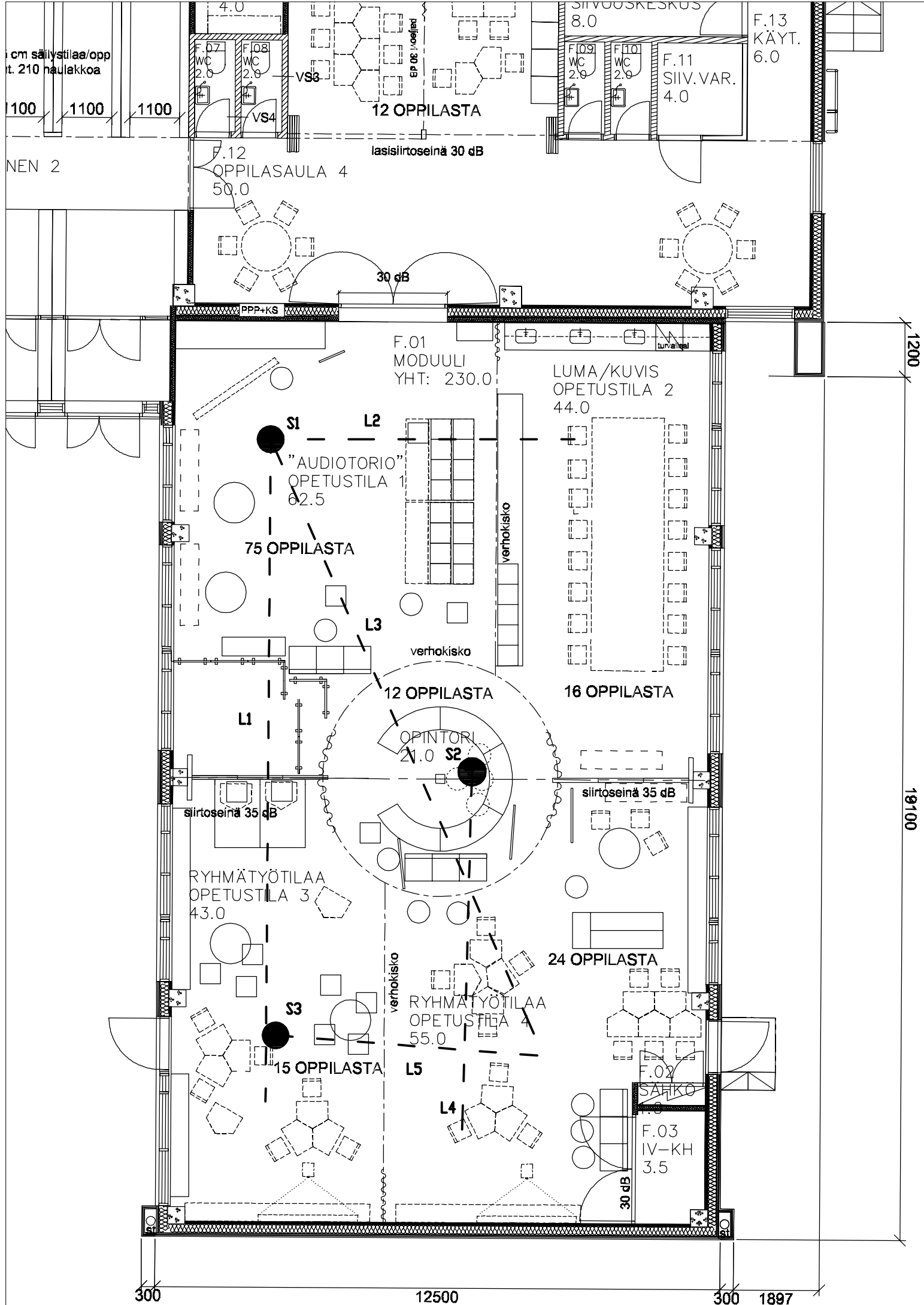
Kaksi pesää verhoilla, $h_c = 2,5$ m, STI, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 4,5$ m



Kaksi pesää verhoilla, $h_c = 2,5$ m, $D_{2,s}$, $L_{A,eq} = 30$ dB ja 40 dB, $h_r = 4,5$ m



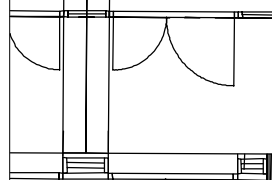
LIITE D: KOULUN 1 MITTAUSTULOKSET



cm säilystila/opp
t. 210 haulakkoa

1100 1100 1100

NEN 2



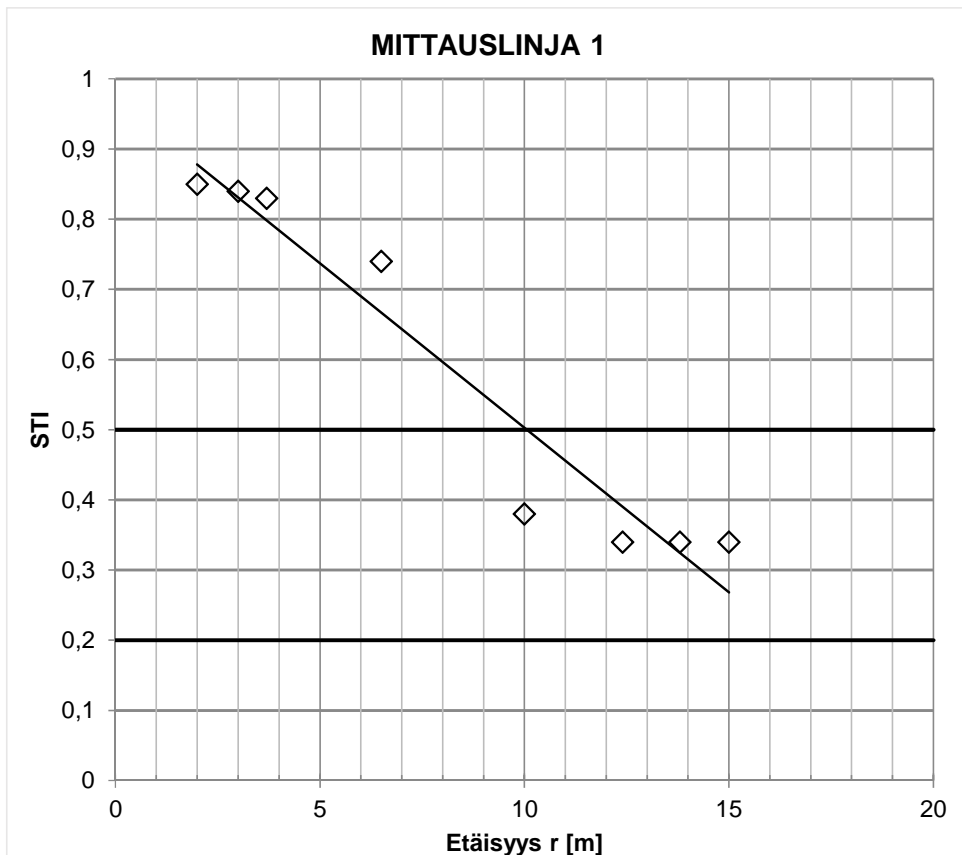
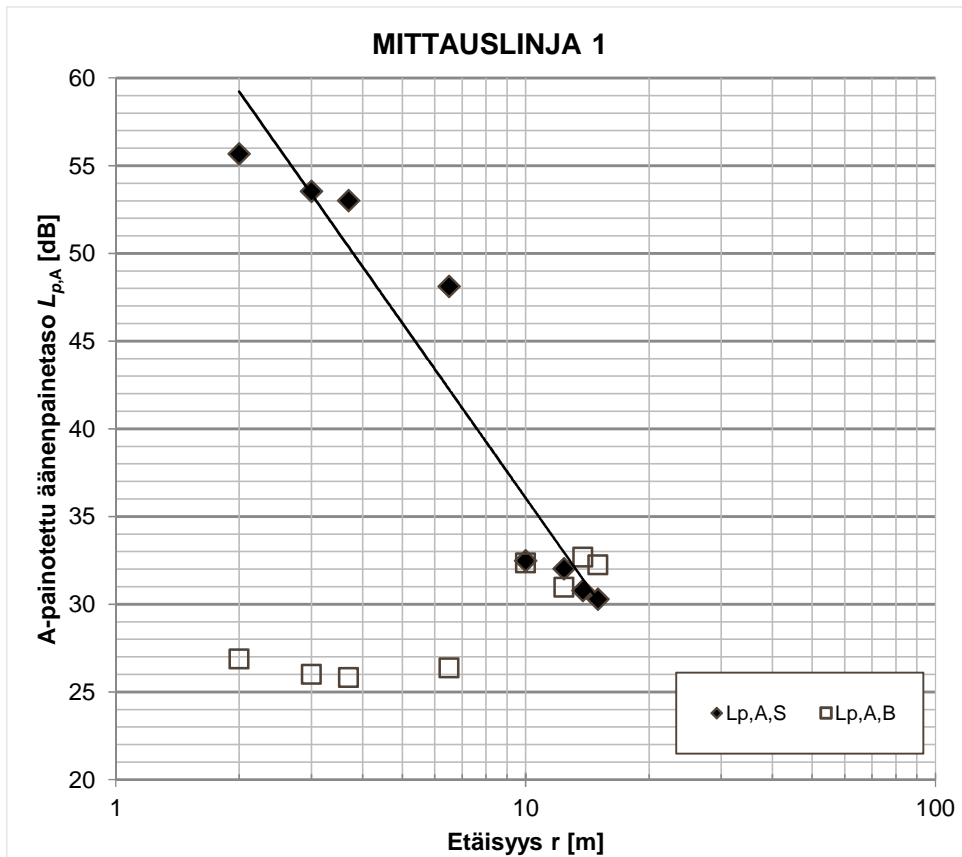
300

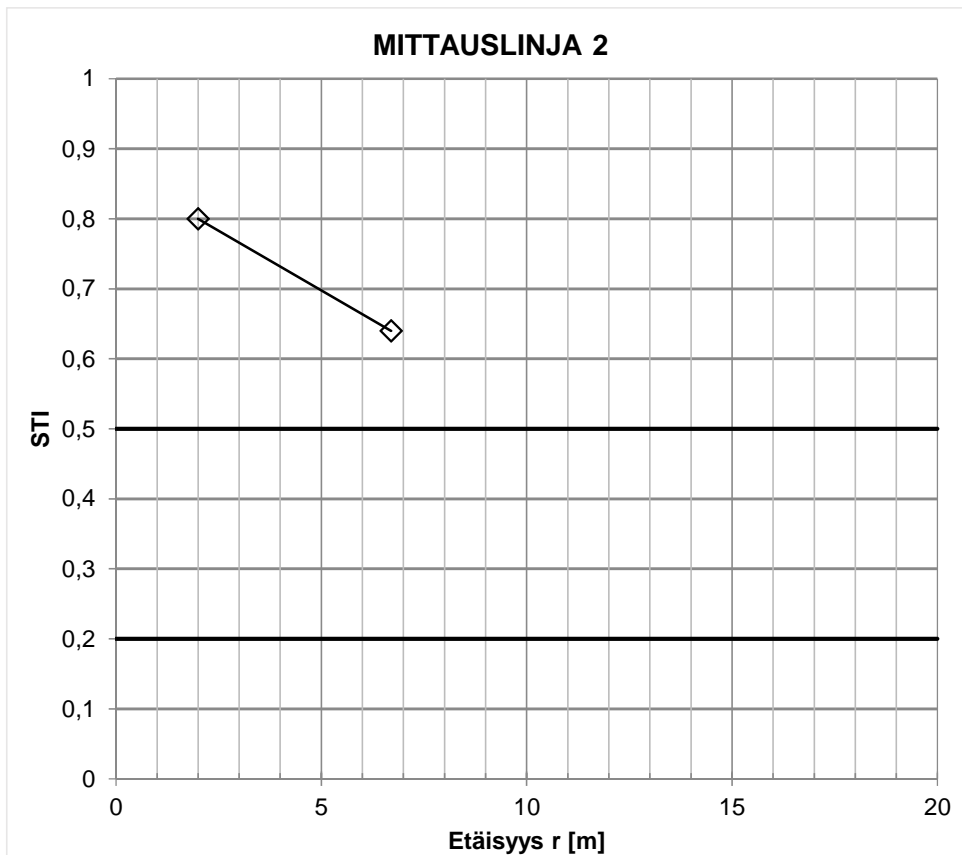
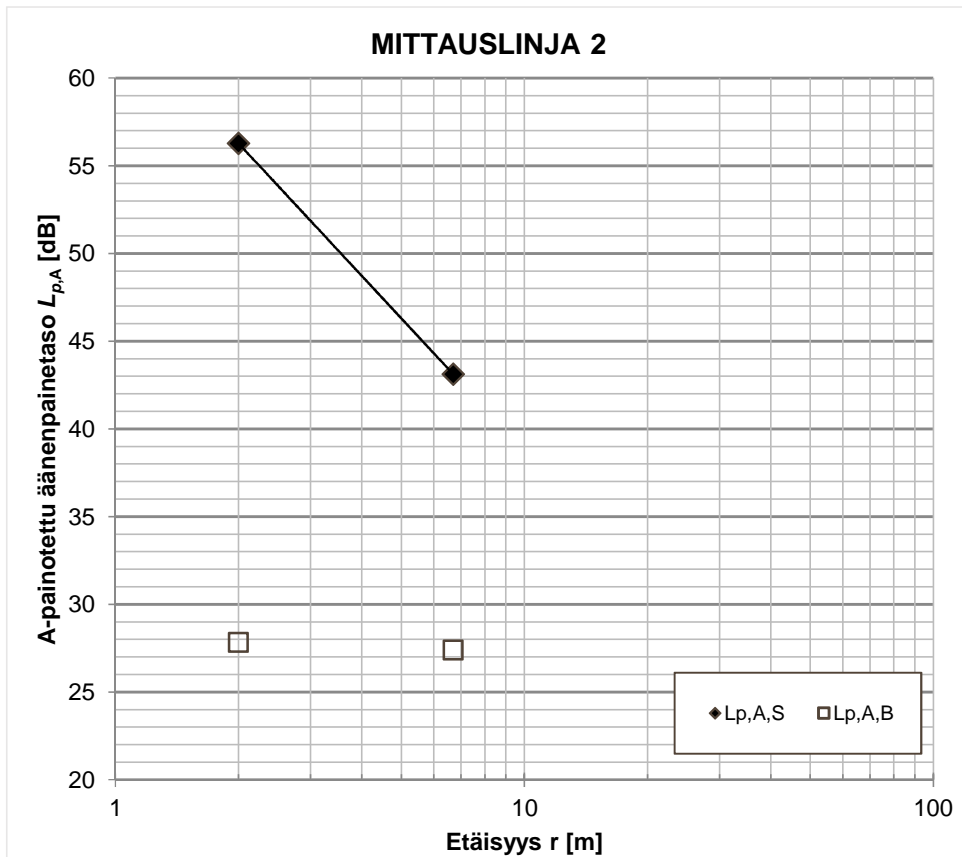
12500

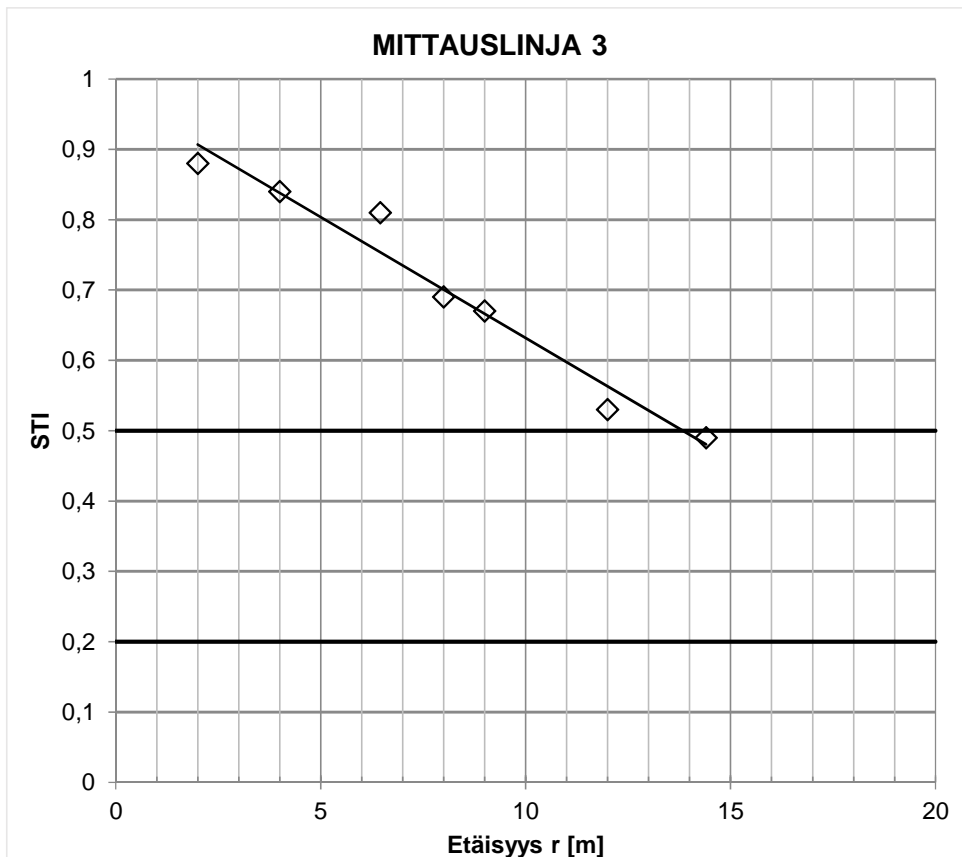
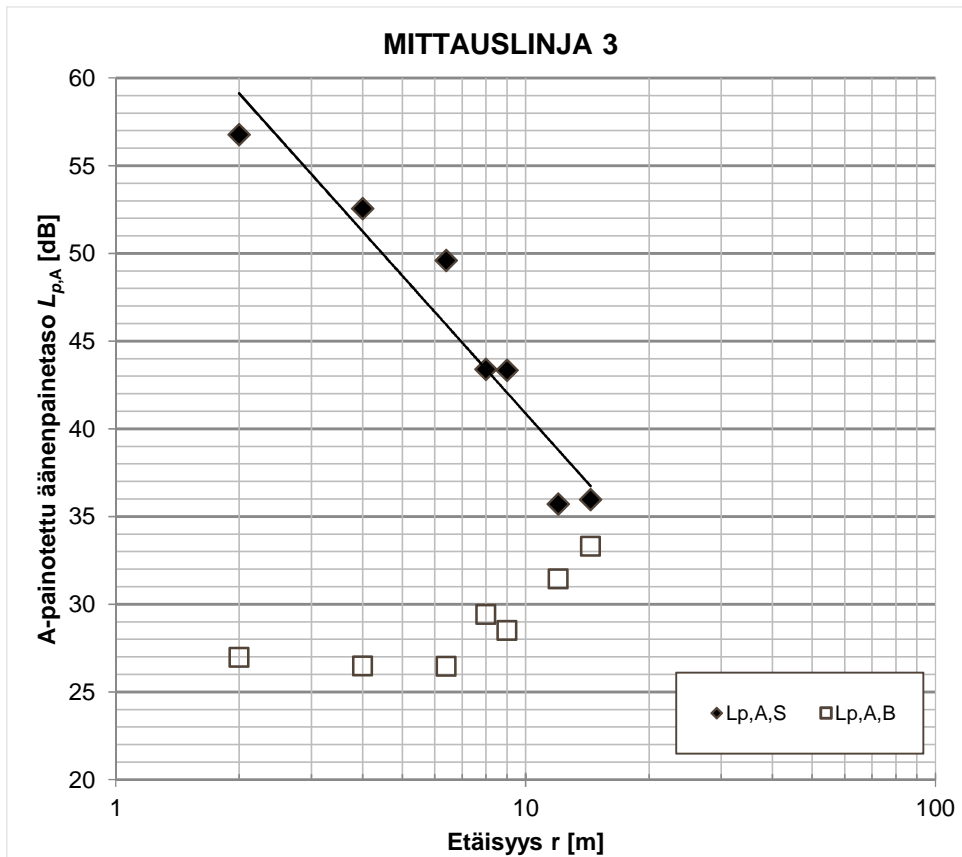
300 1897

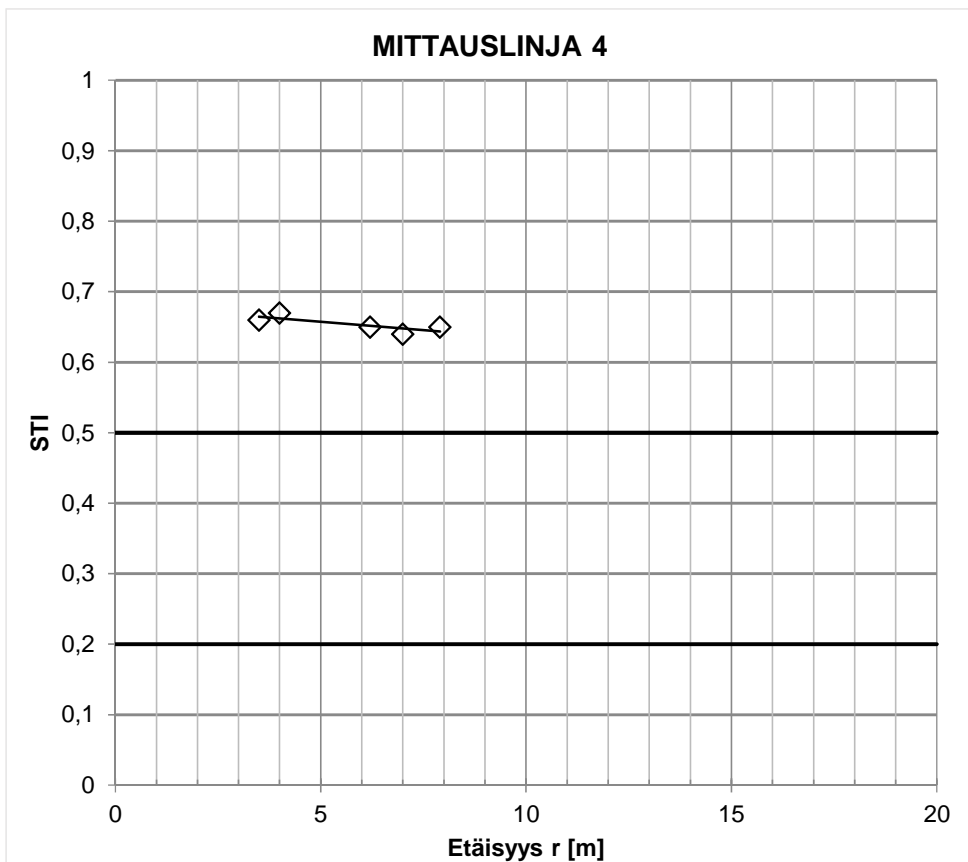
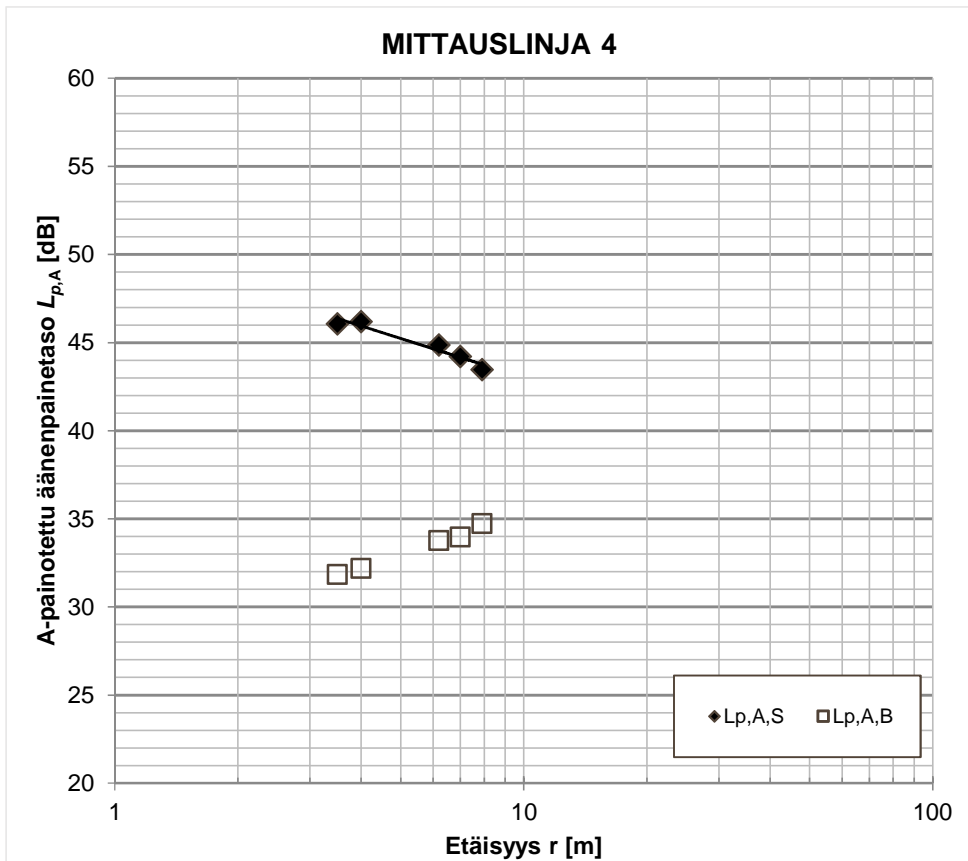
1200

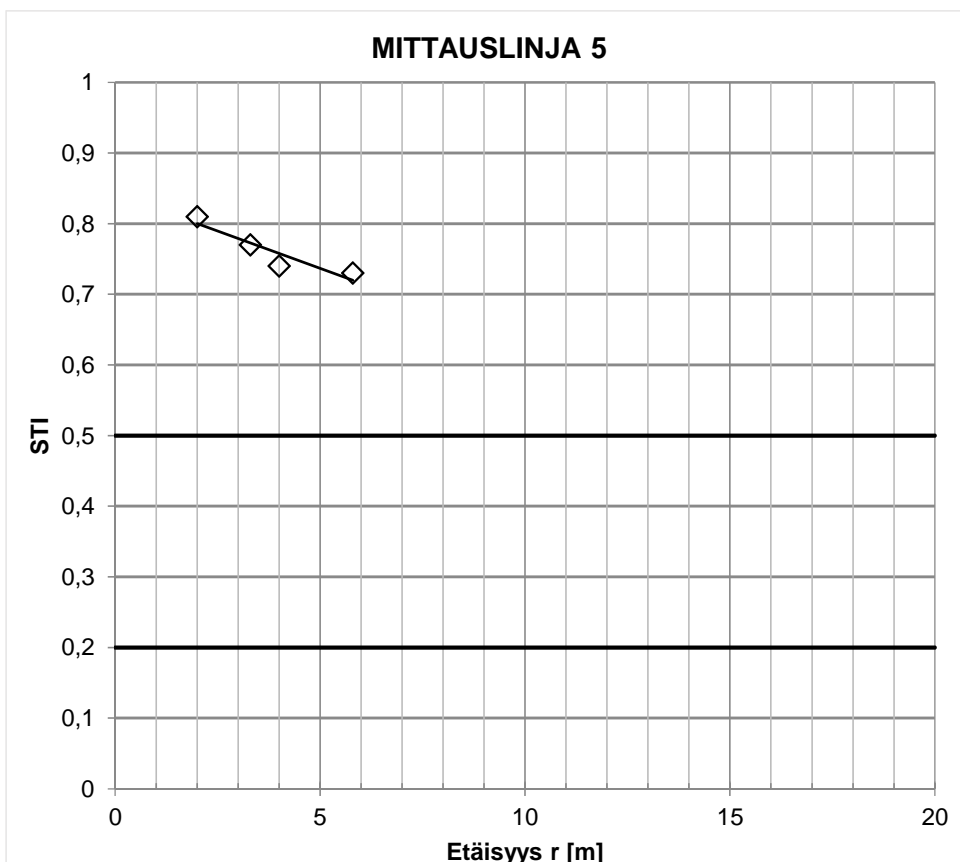
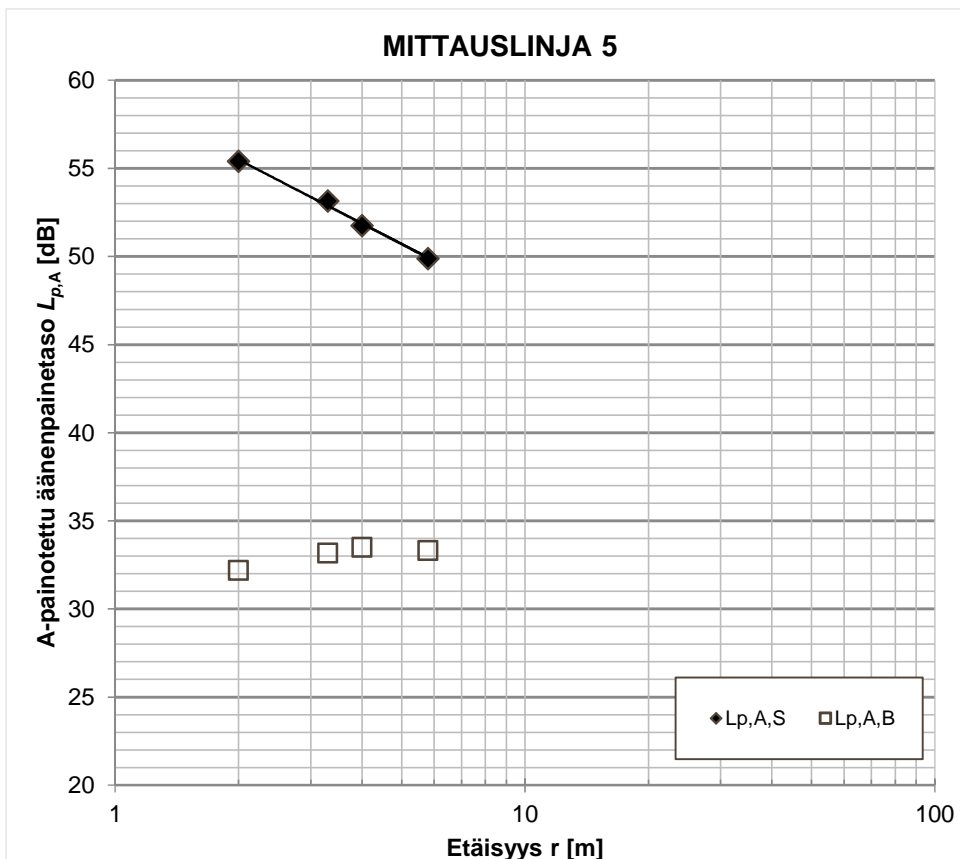
19100











Koulun yksi mittauksiloket, verhot auki

Yksilukuarvot:

Linja 1:

D2,S	10,0	dB
rd	10,1	m
rp	16,5	m

Linja 2:

D2,S	7,5	dB
rd	10,8	m
rp	19,6	m

Linja 3:

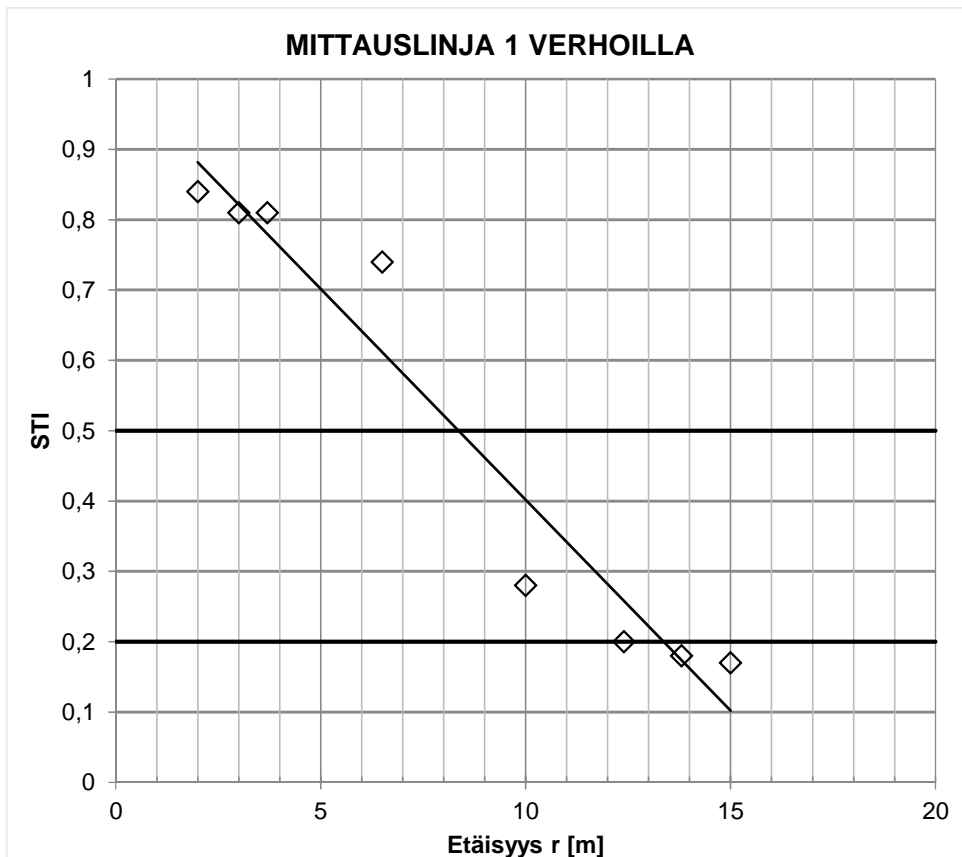
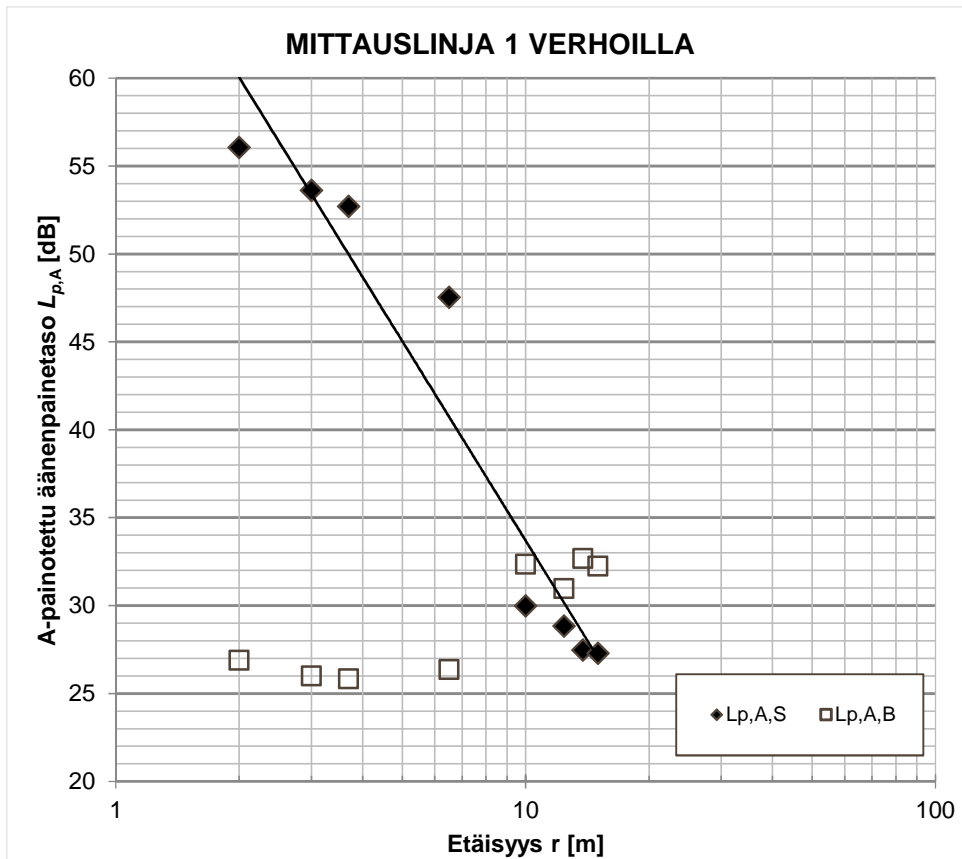
D2,S	7,9	dB
rd	13,8	m
rp	22,6	m

Linja 4:

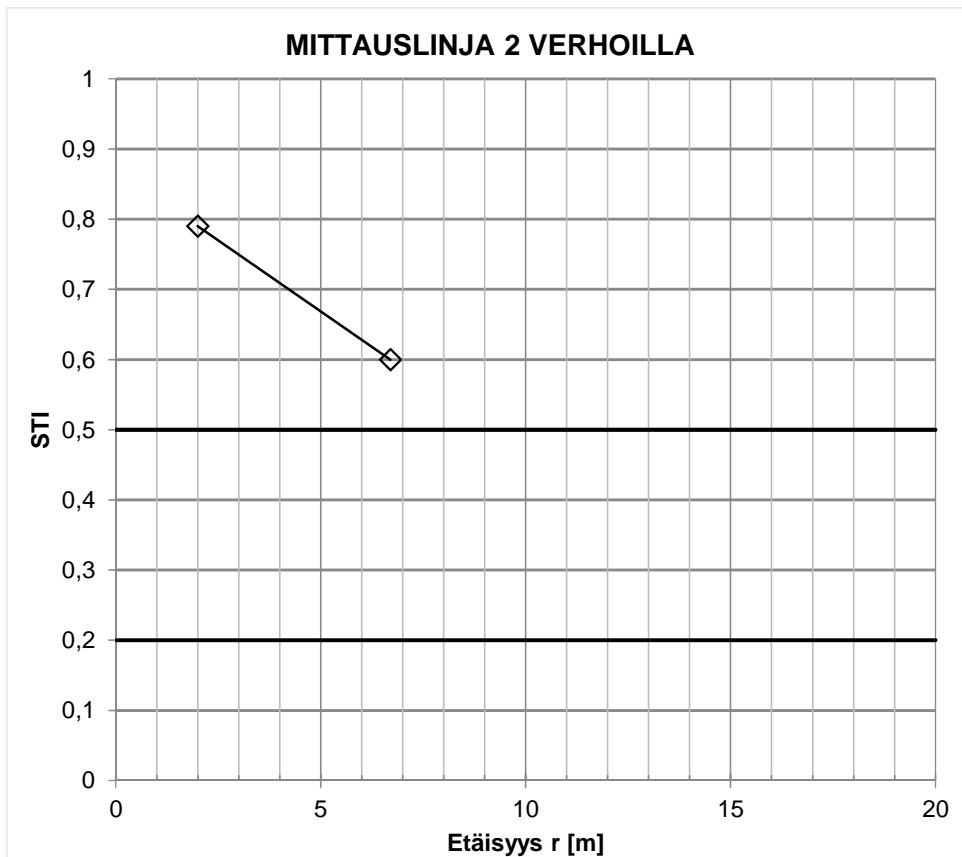
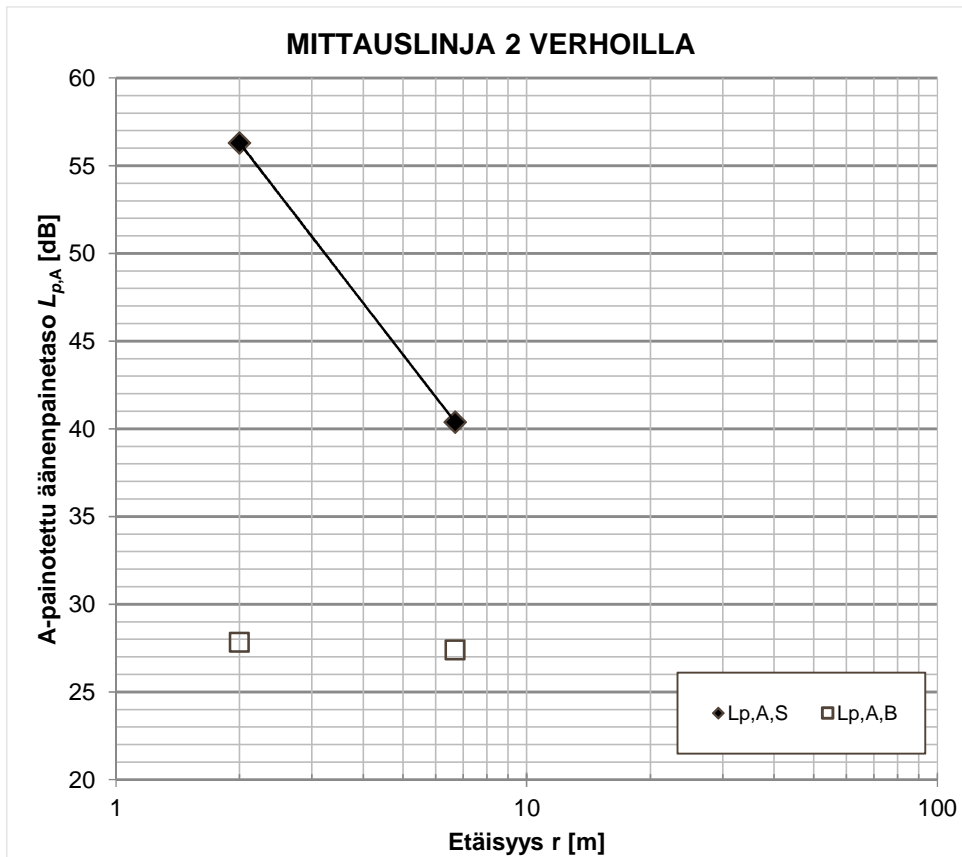
D2,S	2,2	dB
rd	37,9	m
rp	100,6	m

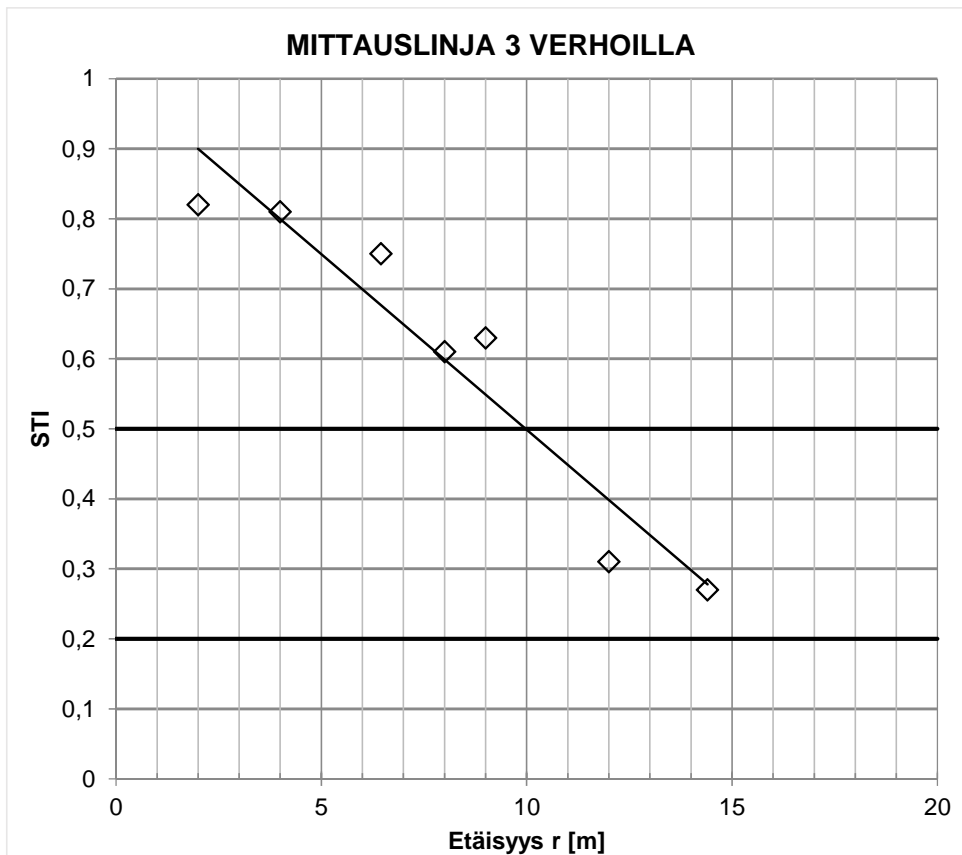
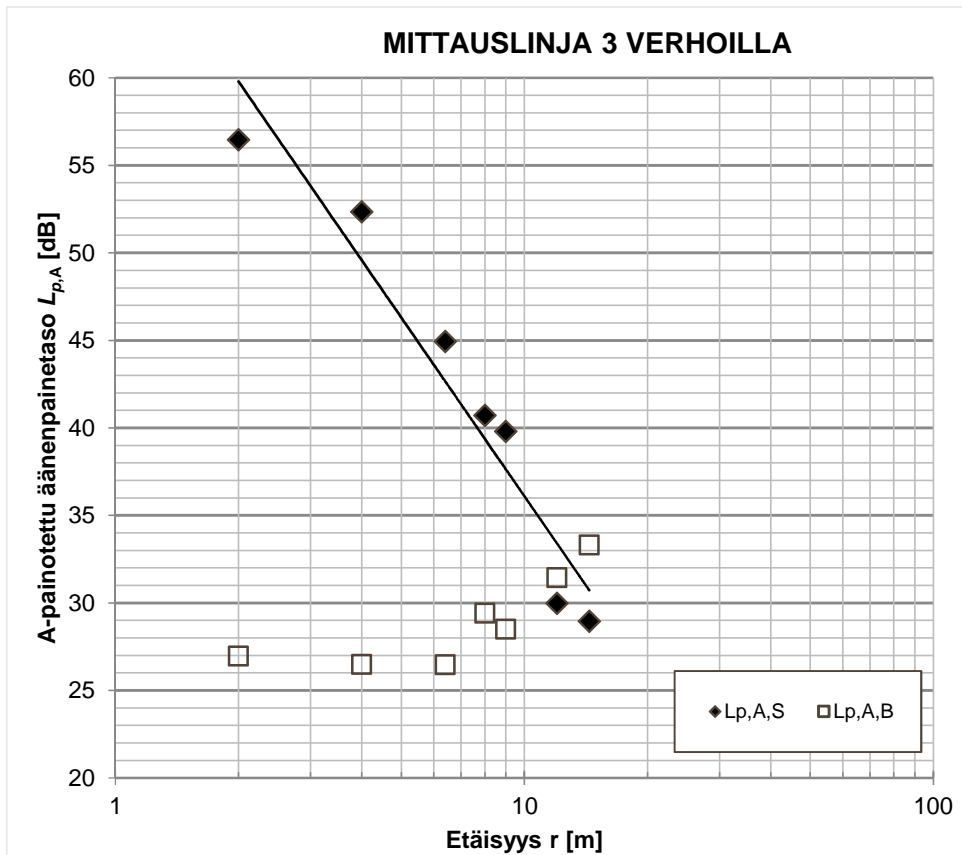
Linja 5:

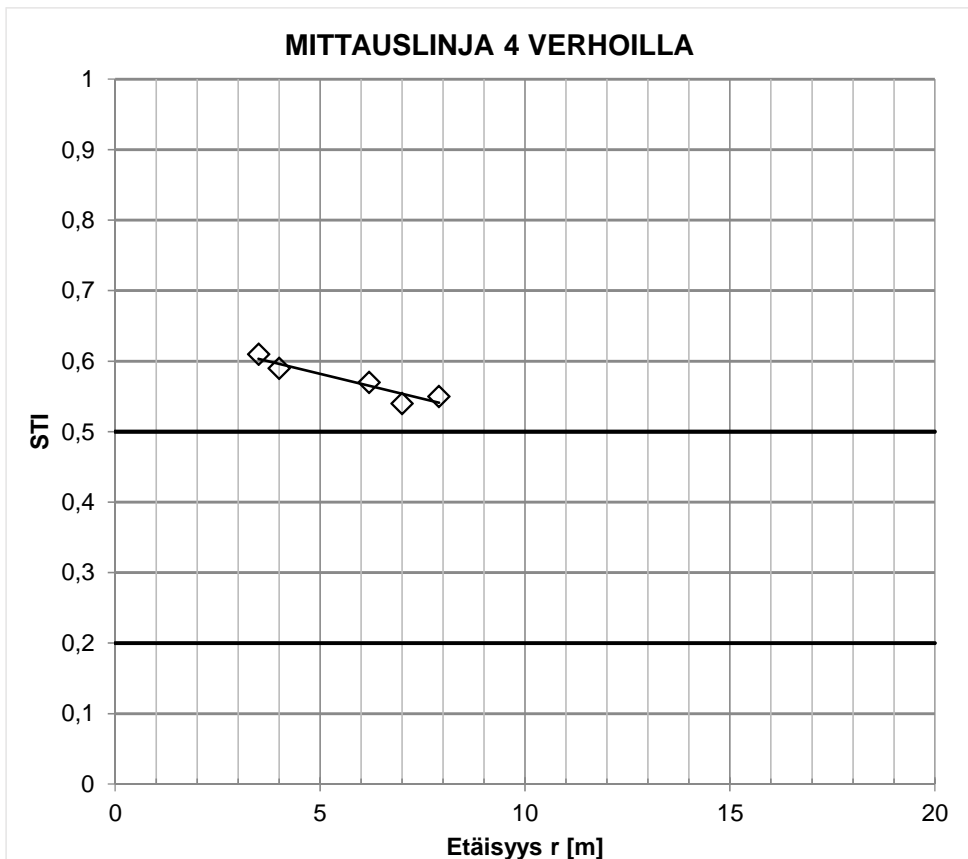
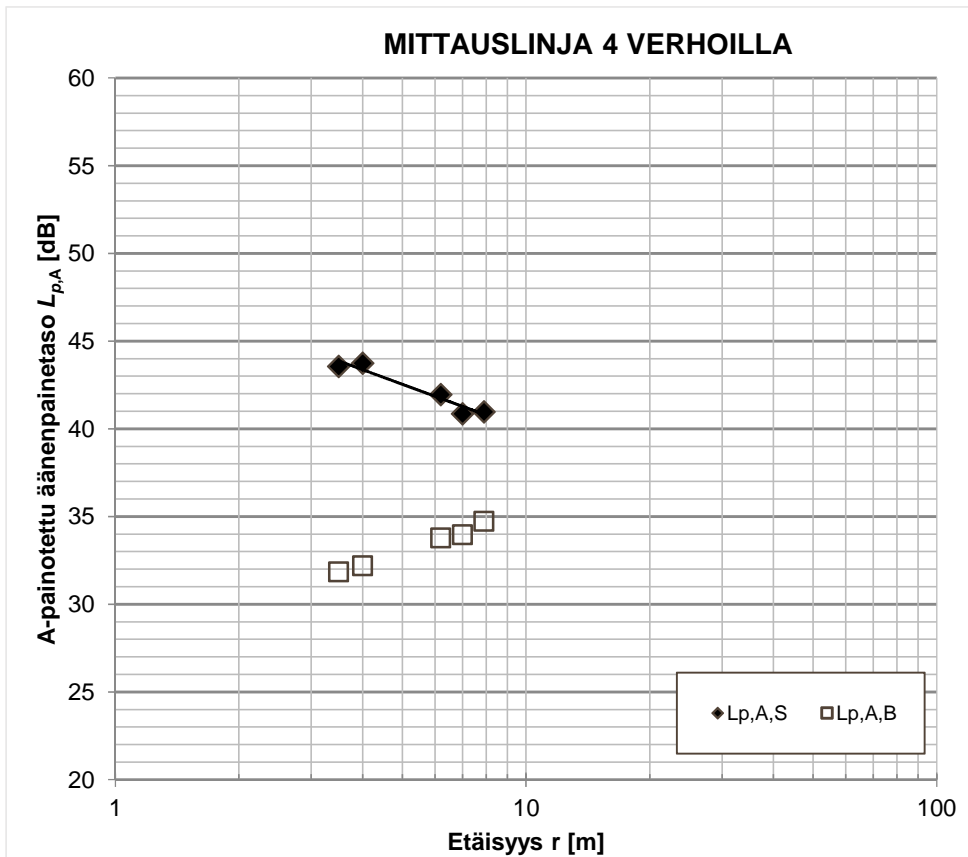
D2,S	3,6	dB
rd	16,2	m
rp	30,4	m

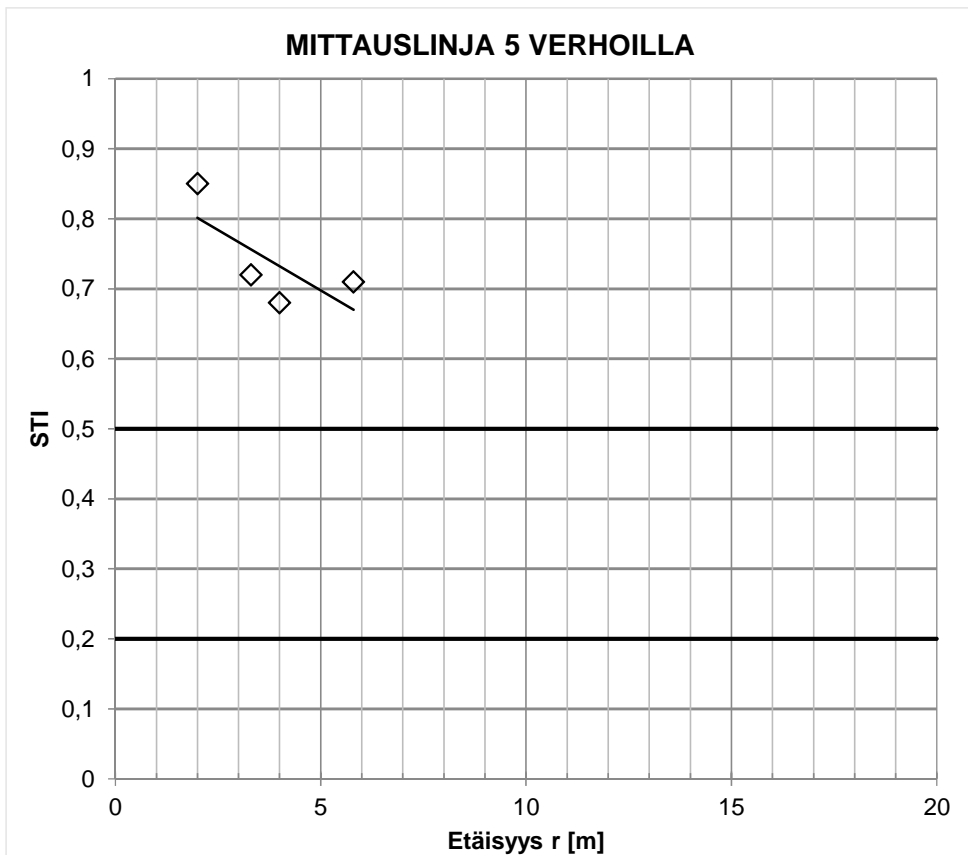
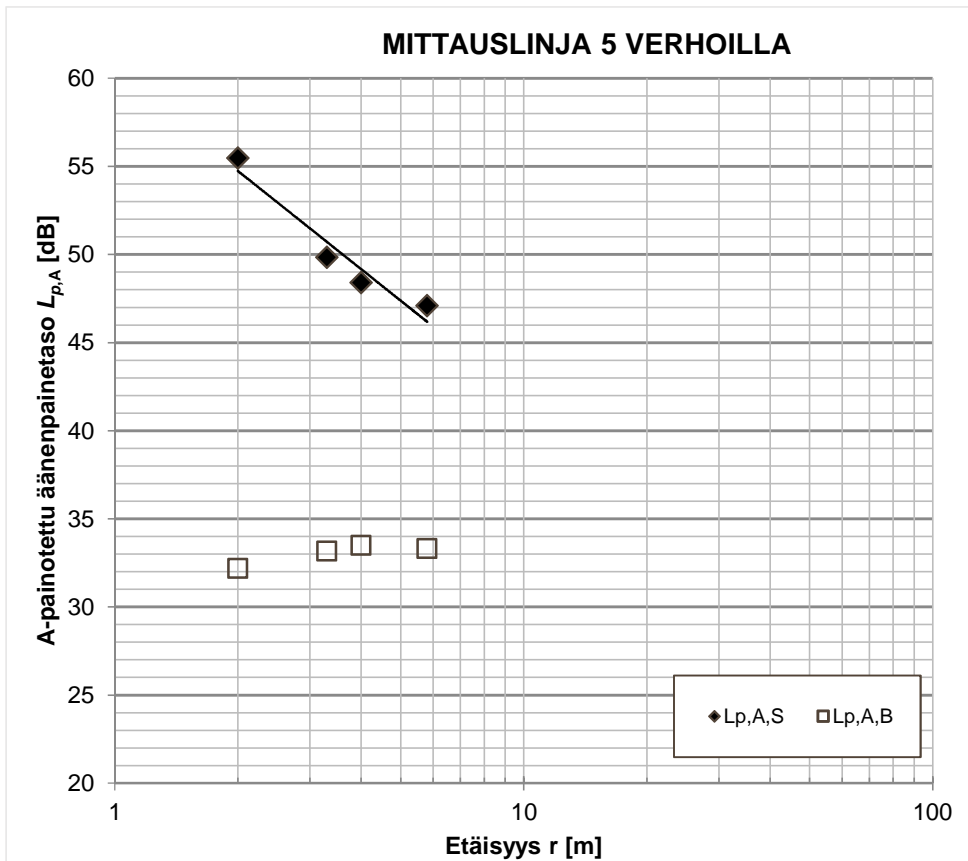


Koulun yksi mittaustulokset, verhot kiinni









Koulun yksi mittauksilukset, verhot kiinni

Yksilukuarvot:

Linja 1:

D2,S	11,4	dB
rd	8,4	m
rp	13,4	m

Linja 2:

D2,S	9,1	dB
rd	9,2	m
rp	16,6	m

Linja 3:

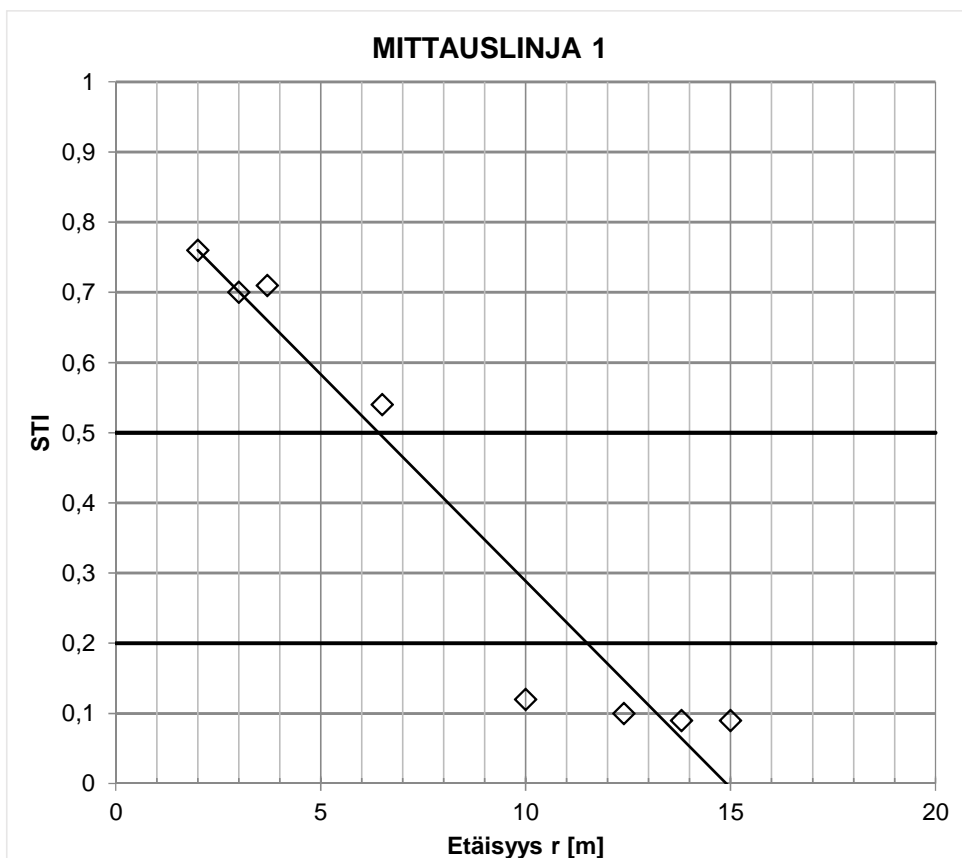
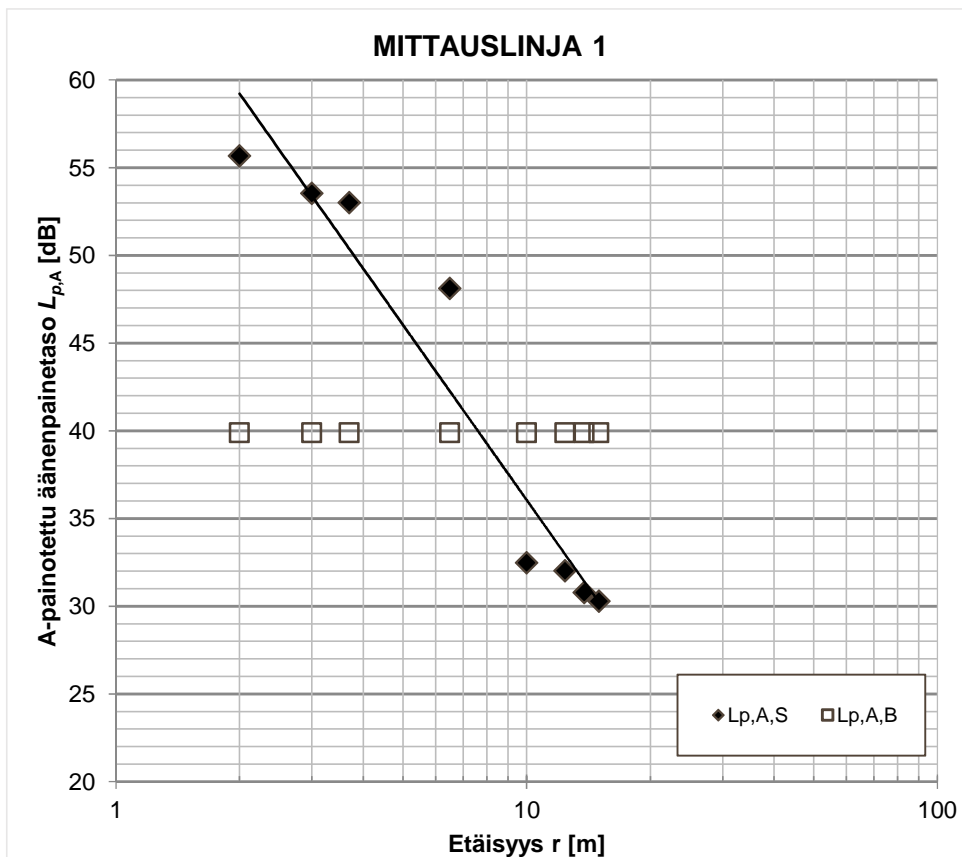
D2,S	10,2	dB
rd	10,0	m
rp	16,0	m

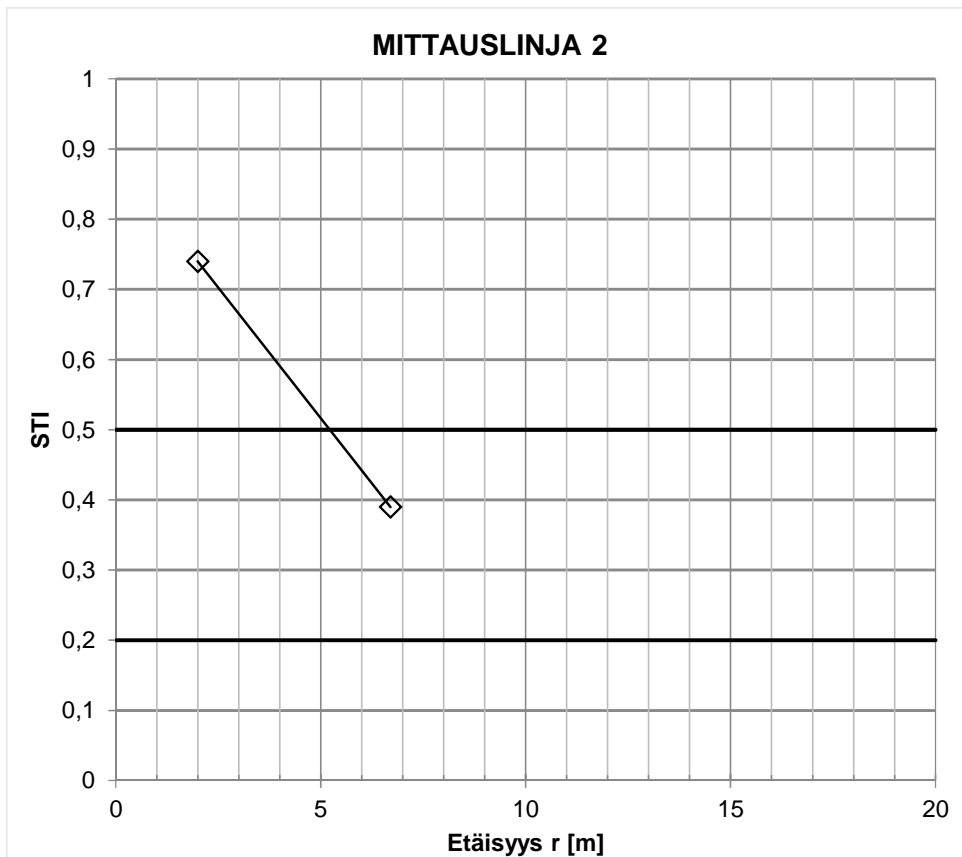
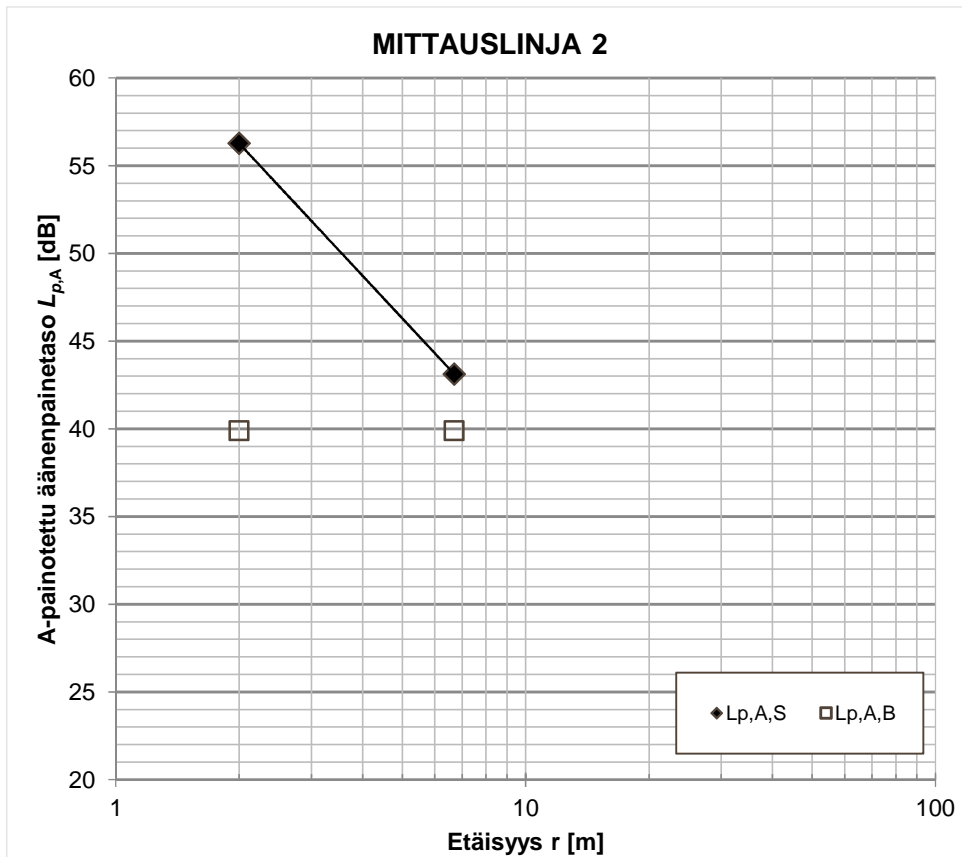
Linja 4:

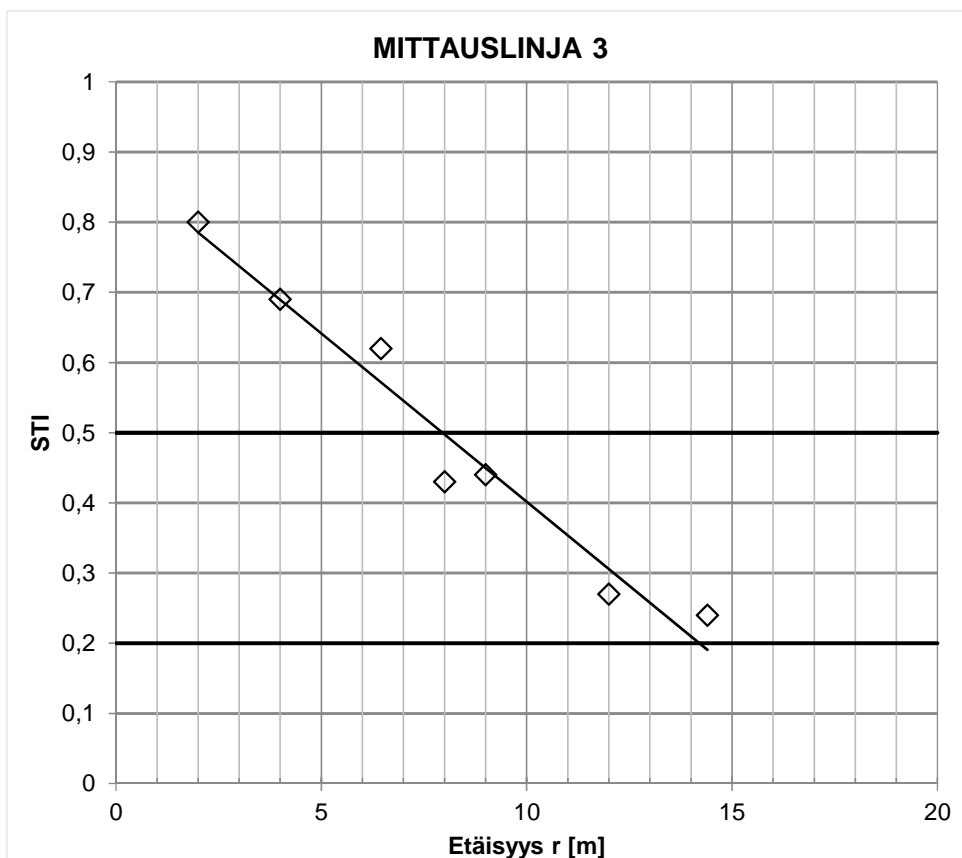
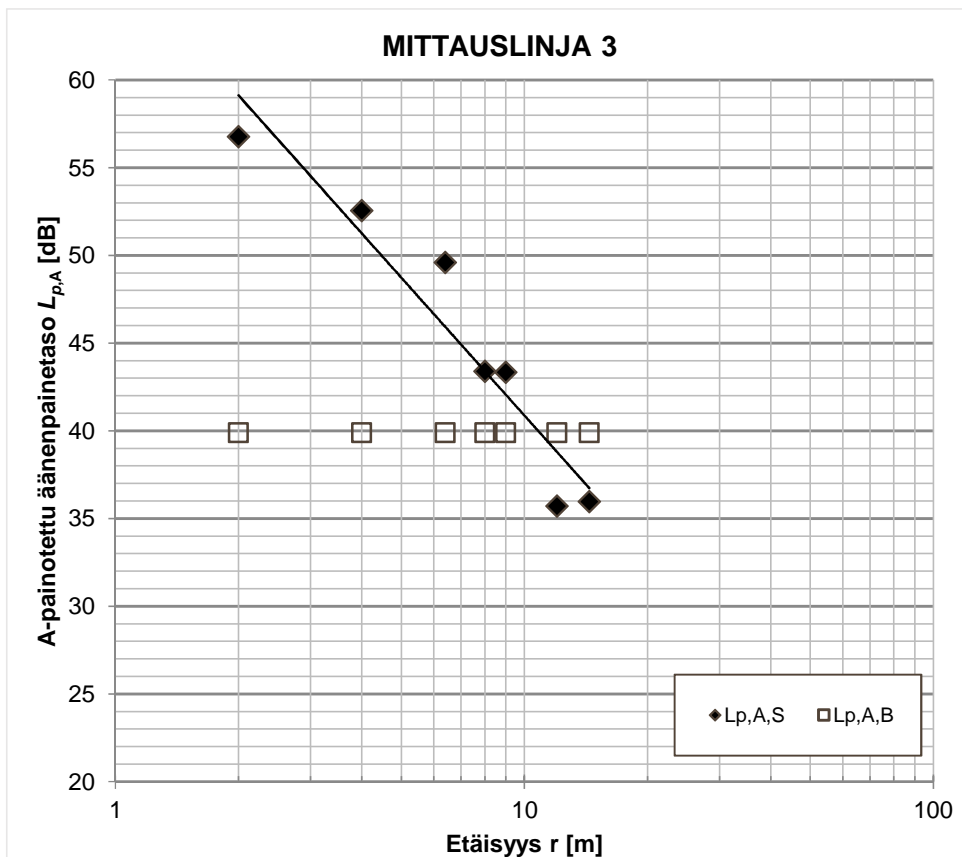
D2,S	2,6	dB
rd	10,8	m
rp	32,0	m

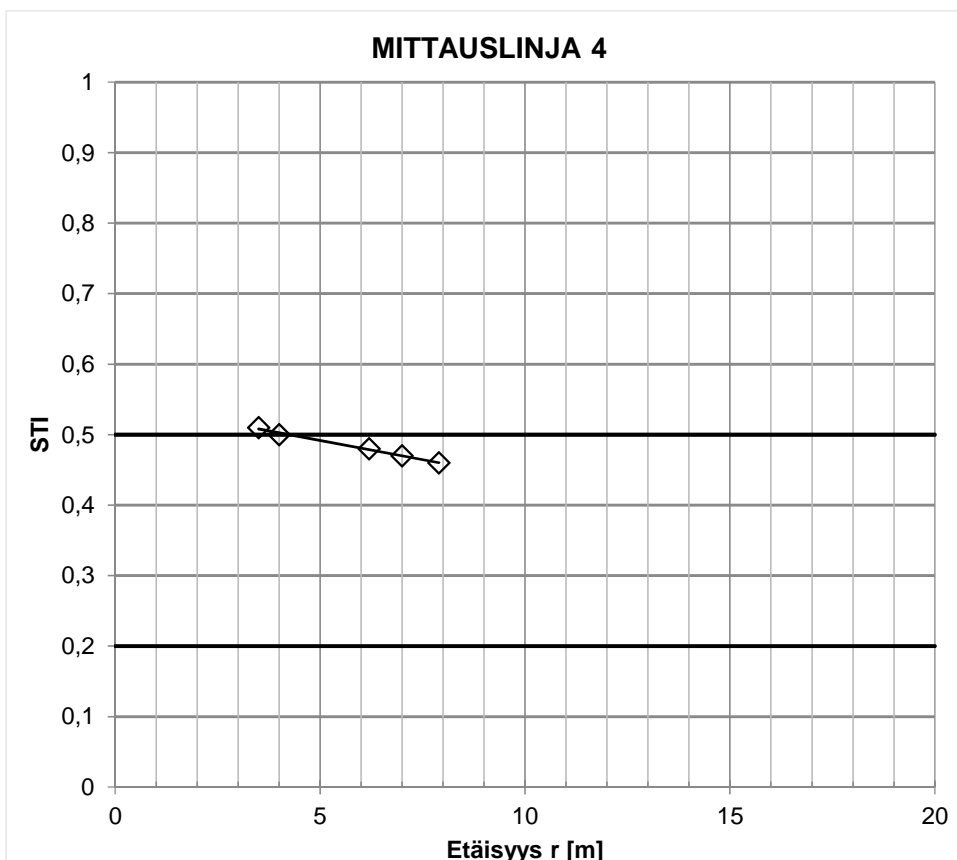
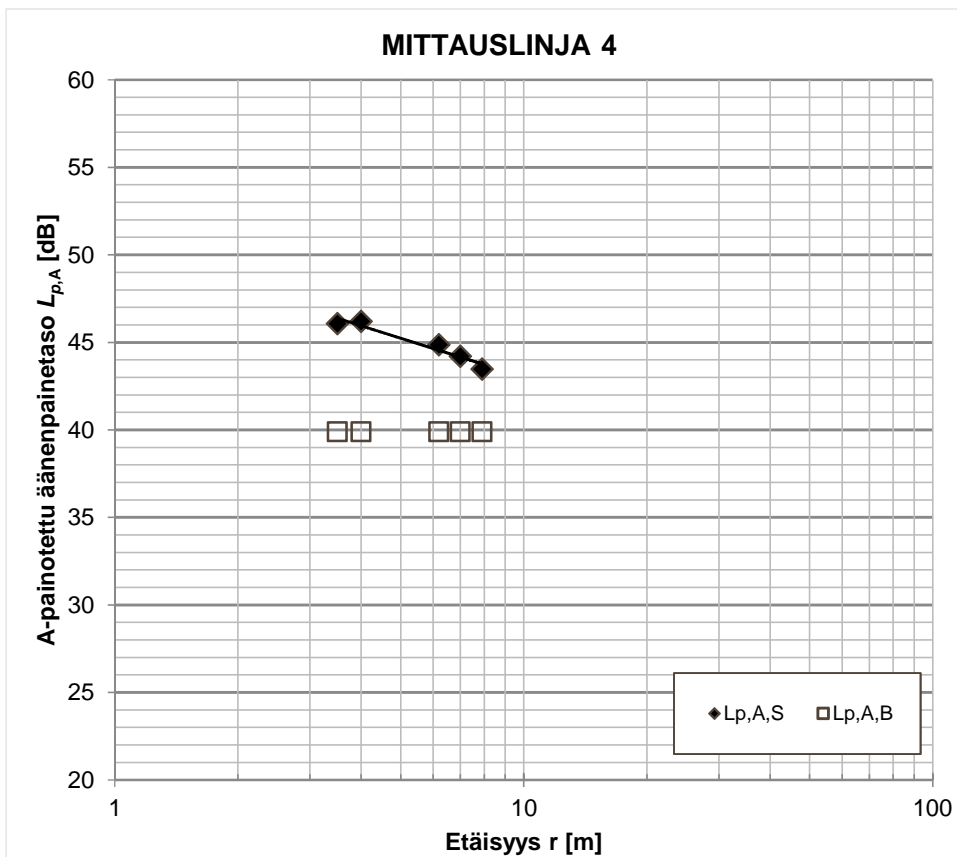
Linja 5:

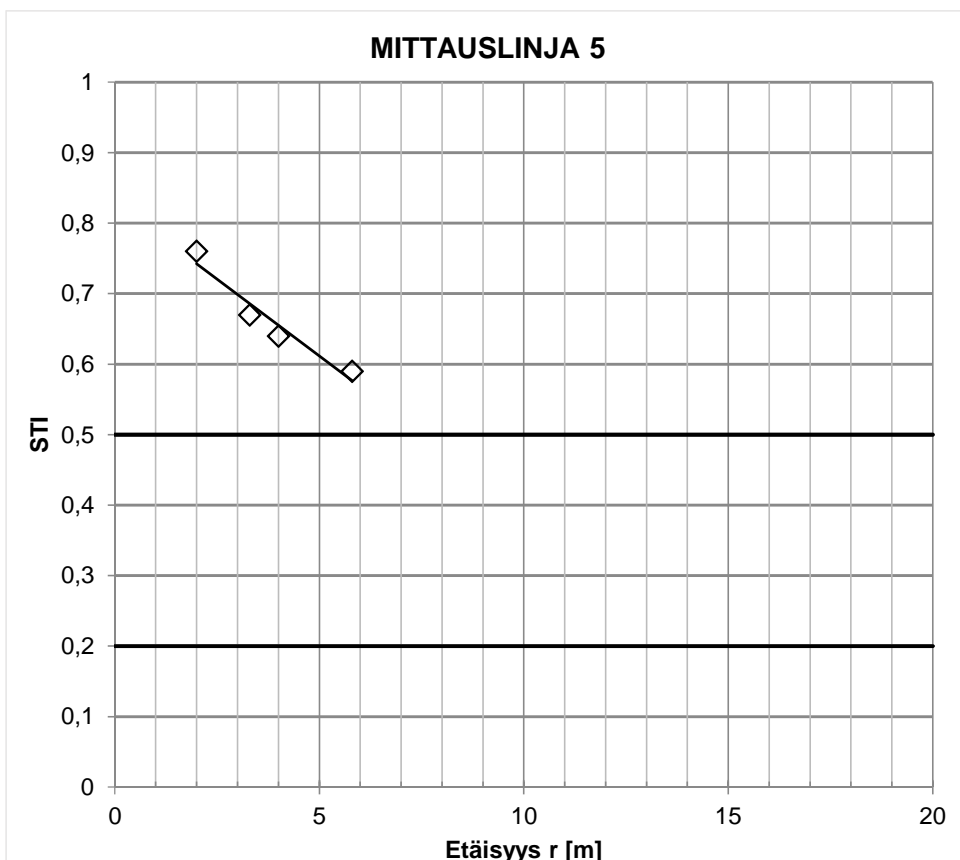
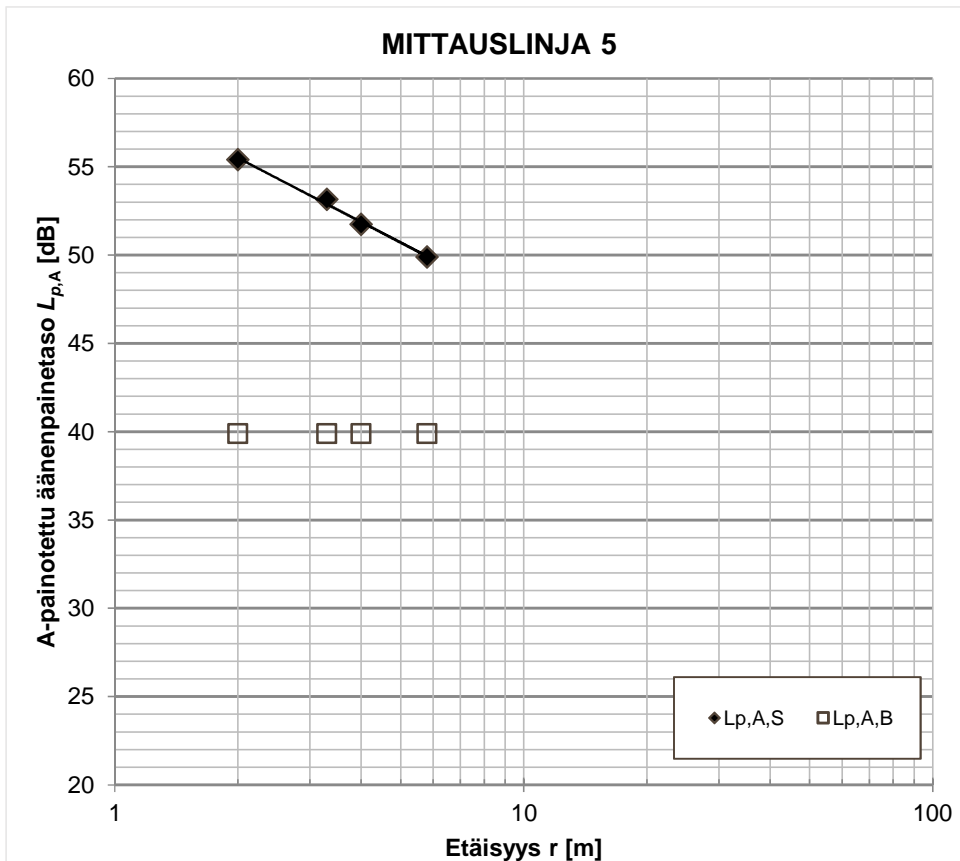
D2,S	5,6	dB
rd	10,7	m
rp	19,4	m











Koulun yksi mittauksilukset, verhot auki, laskennallinen taustäänitaso LA,eq = 40 dB

Yksilukuarvot:

Linja 1:

D2,S	10,0	dB
rd	6,4	m
rp	11,5	m

Linja 2:

D2,S	7,5	dB
rd	5,2	m
rp	9,3	m

Linja 3:

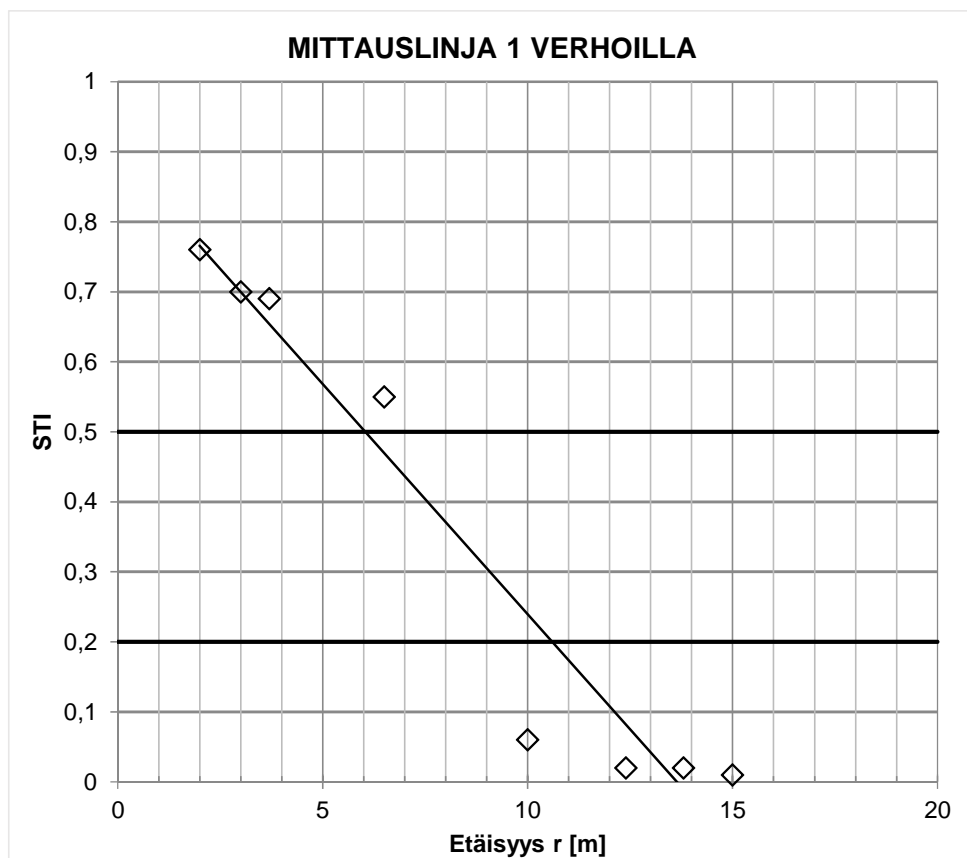
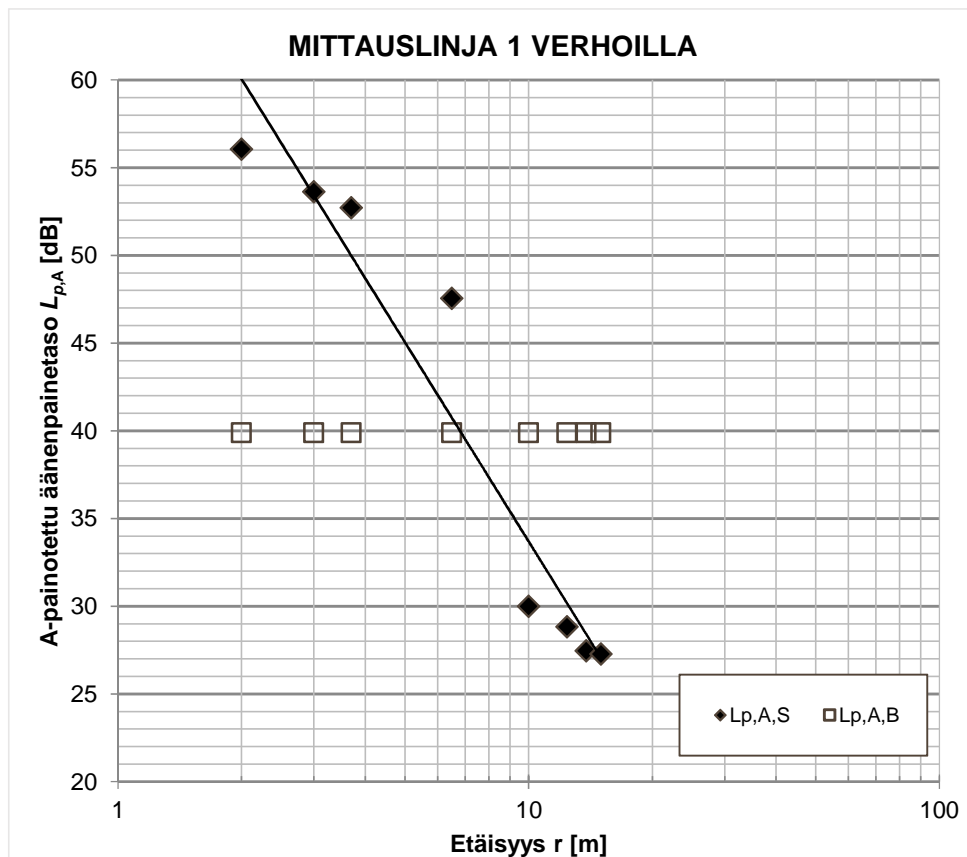
D2,S	7,9	dB
rd	7,9	m
rp	14,2	m

Linja 4:

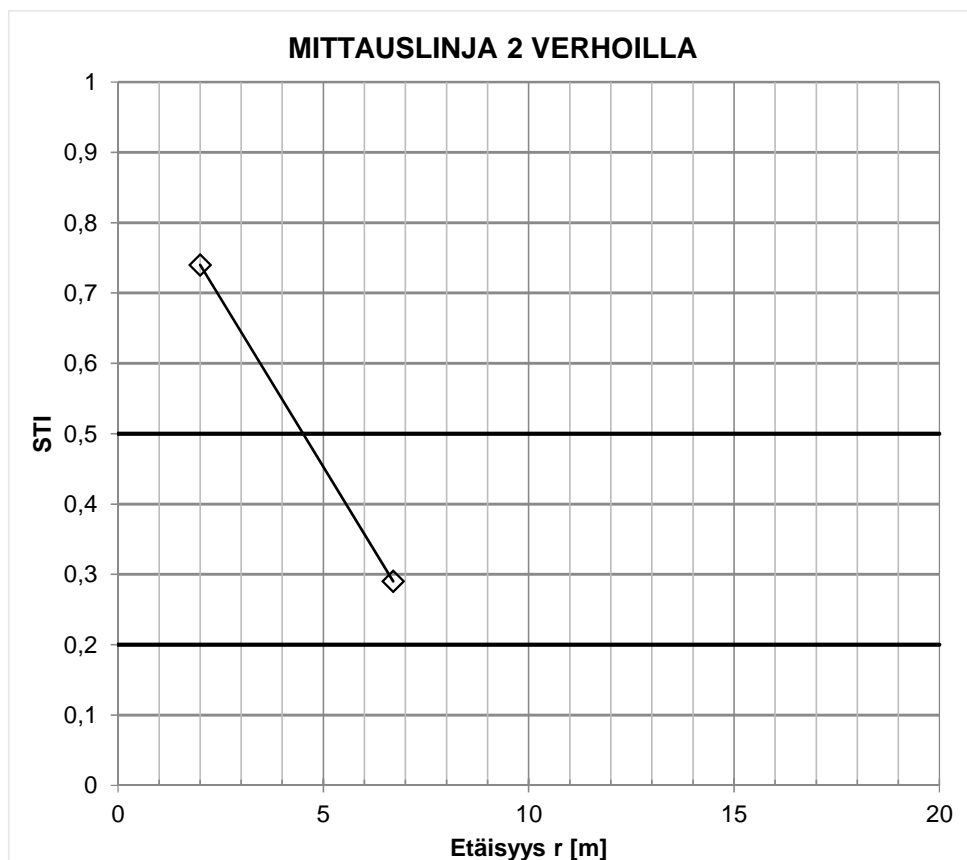
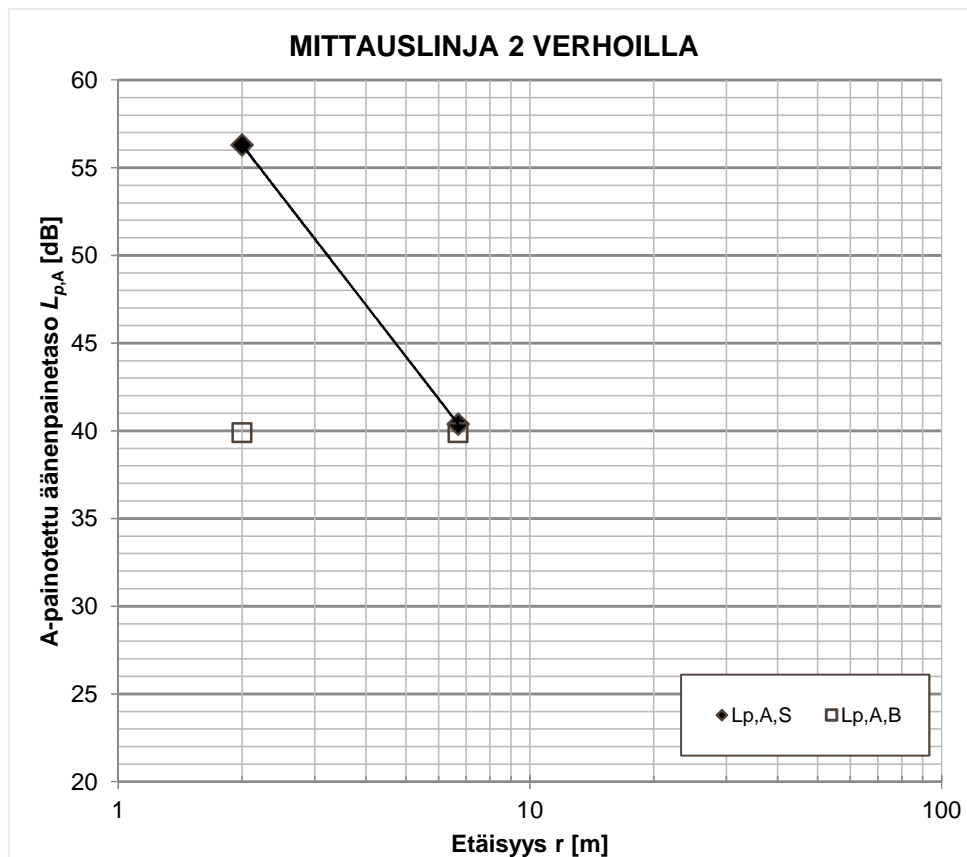
D2,S	2,2	dB
rd	4,2	m
rp	31,9	m

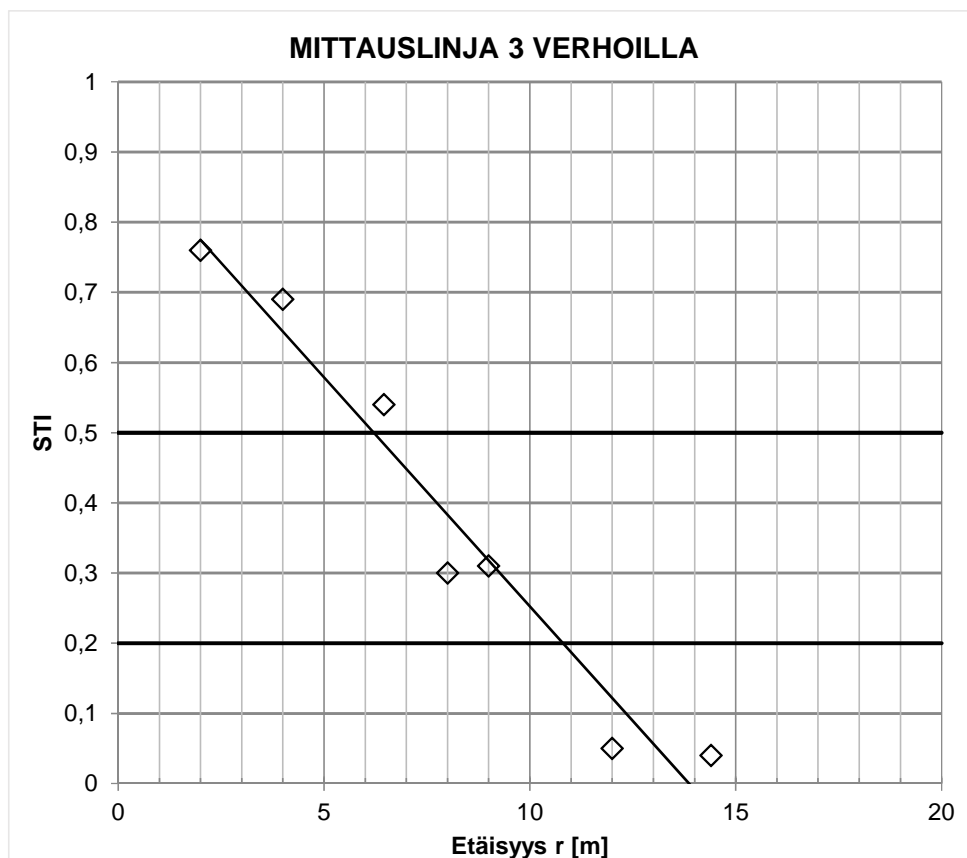
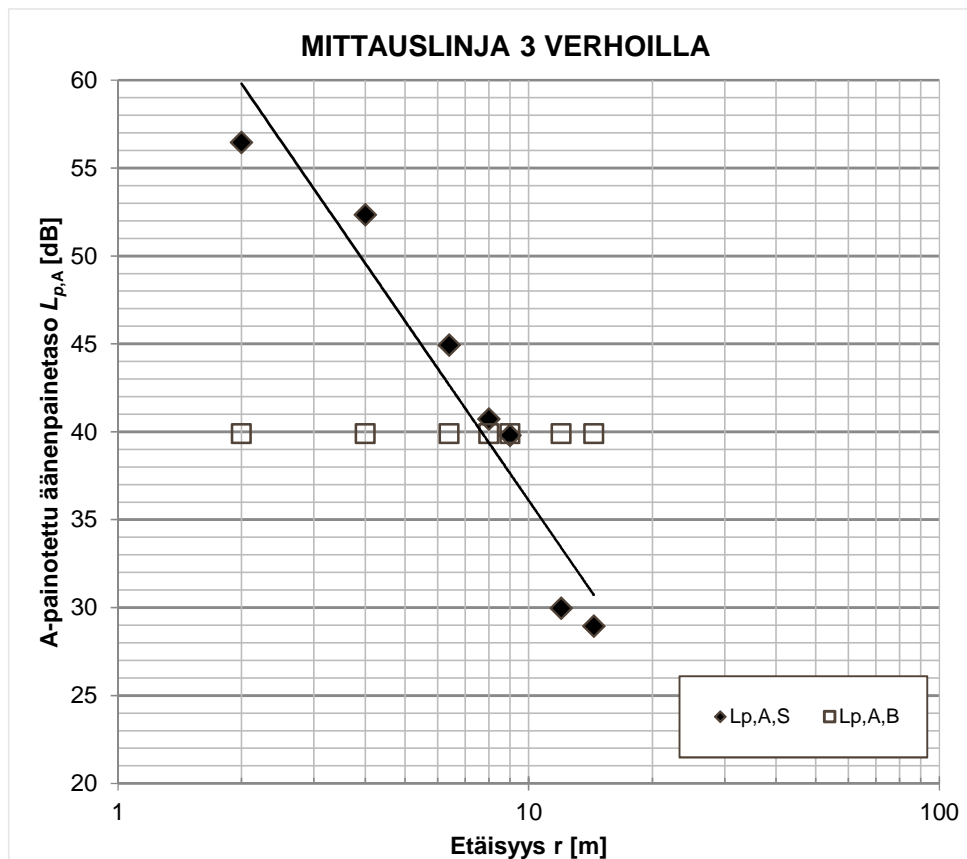
Linja 5:

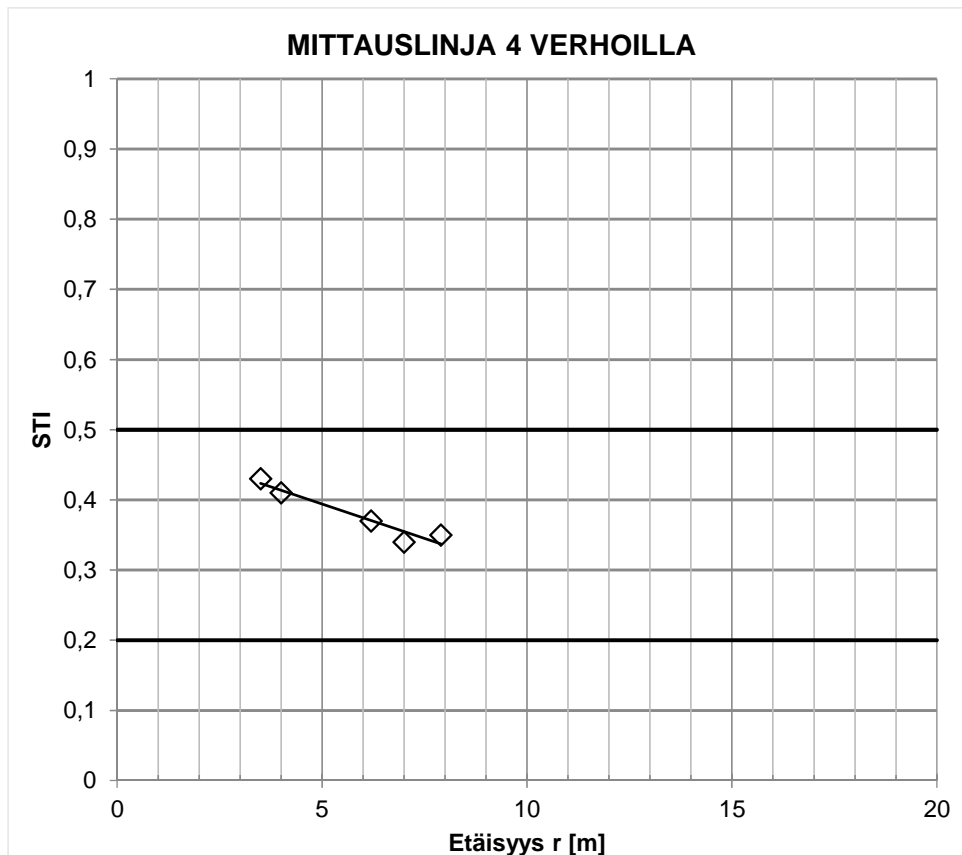
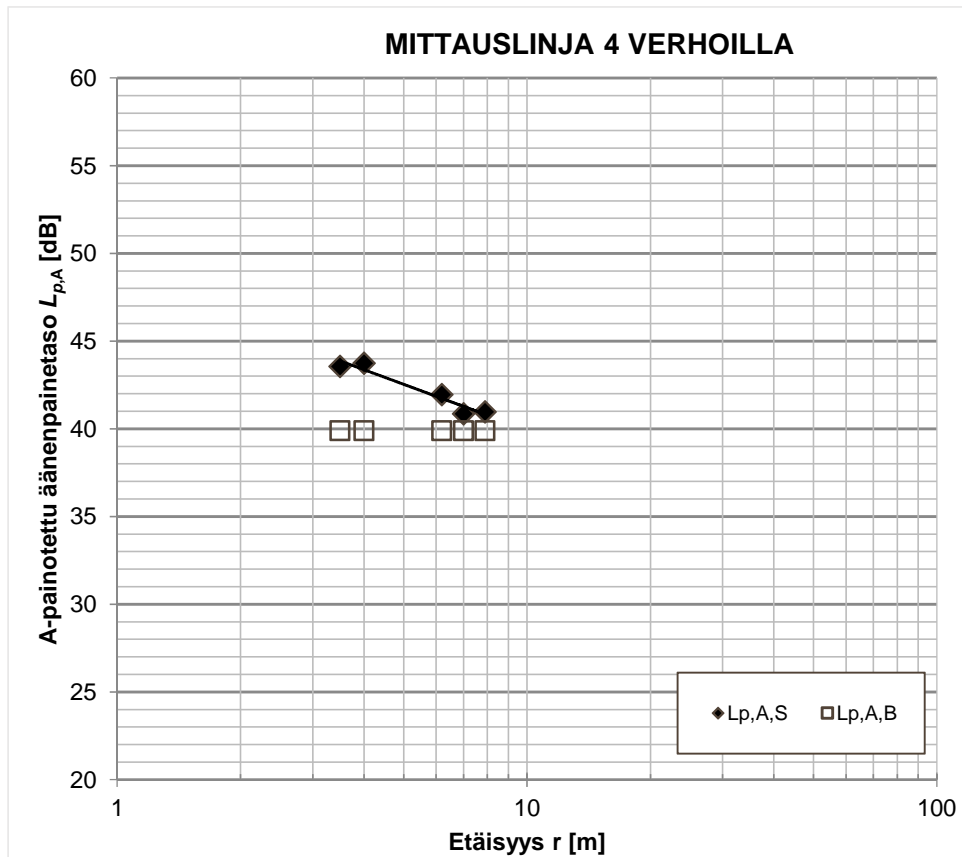
D2,S	3,6	dB
rd	7,6	m
rp	14,4	m

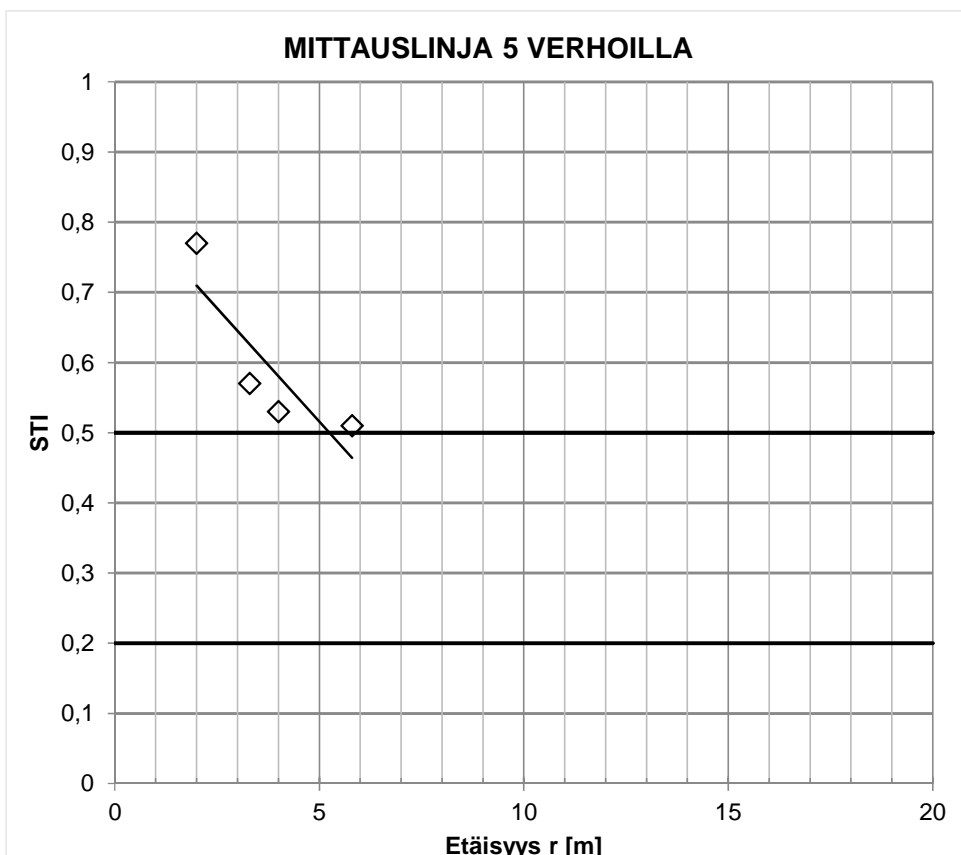
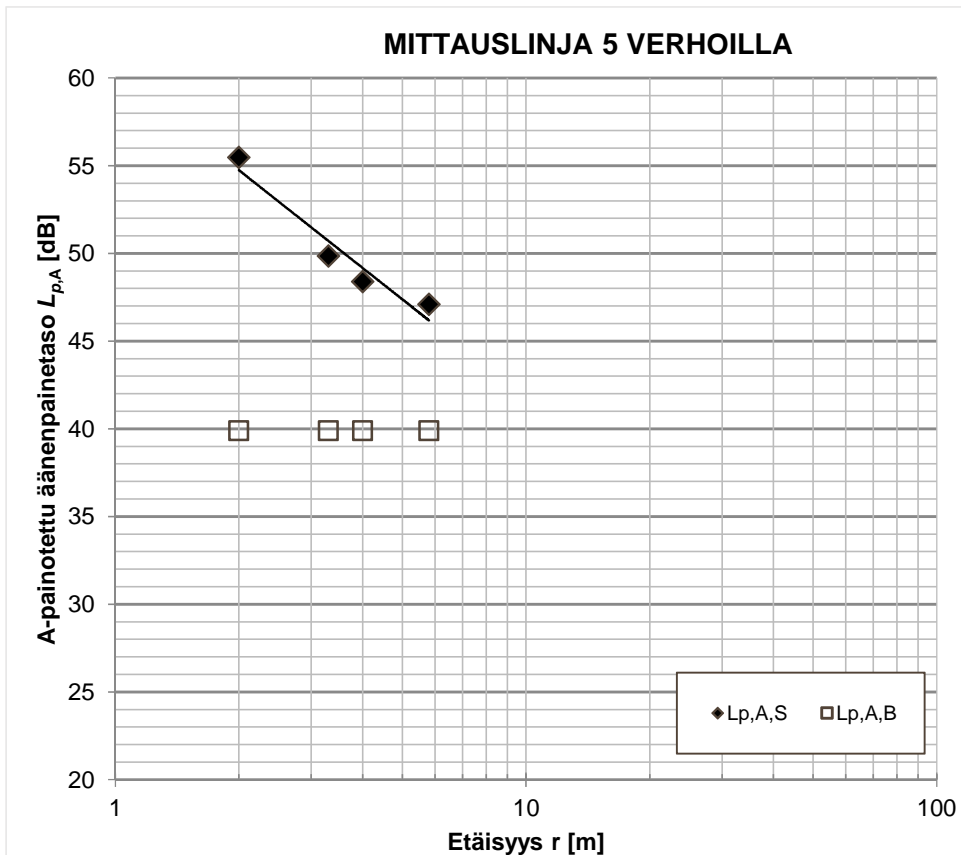


Koulun yksi mittaustulokset, verhot kiinni, laskennallinen taustaäänitaso LA,eq = 40 dB









Koulun yksi mittauksilukset, verhot kiinni, laskennallinen taustaaänitaso LA,eq = 40 dB

Yksilukuarvot:

Linja 1:

D2,S	11,4	dB
rd	6,0	m
rp	10,6	m

Linja 2:

D2,S	9,1	dB
rd	4,5	m
rp	7,6	m

Linja 3:

D2,S	10,2	dB
rd	6,2	m
rp	10,8	m

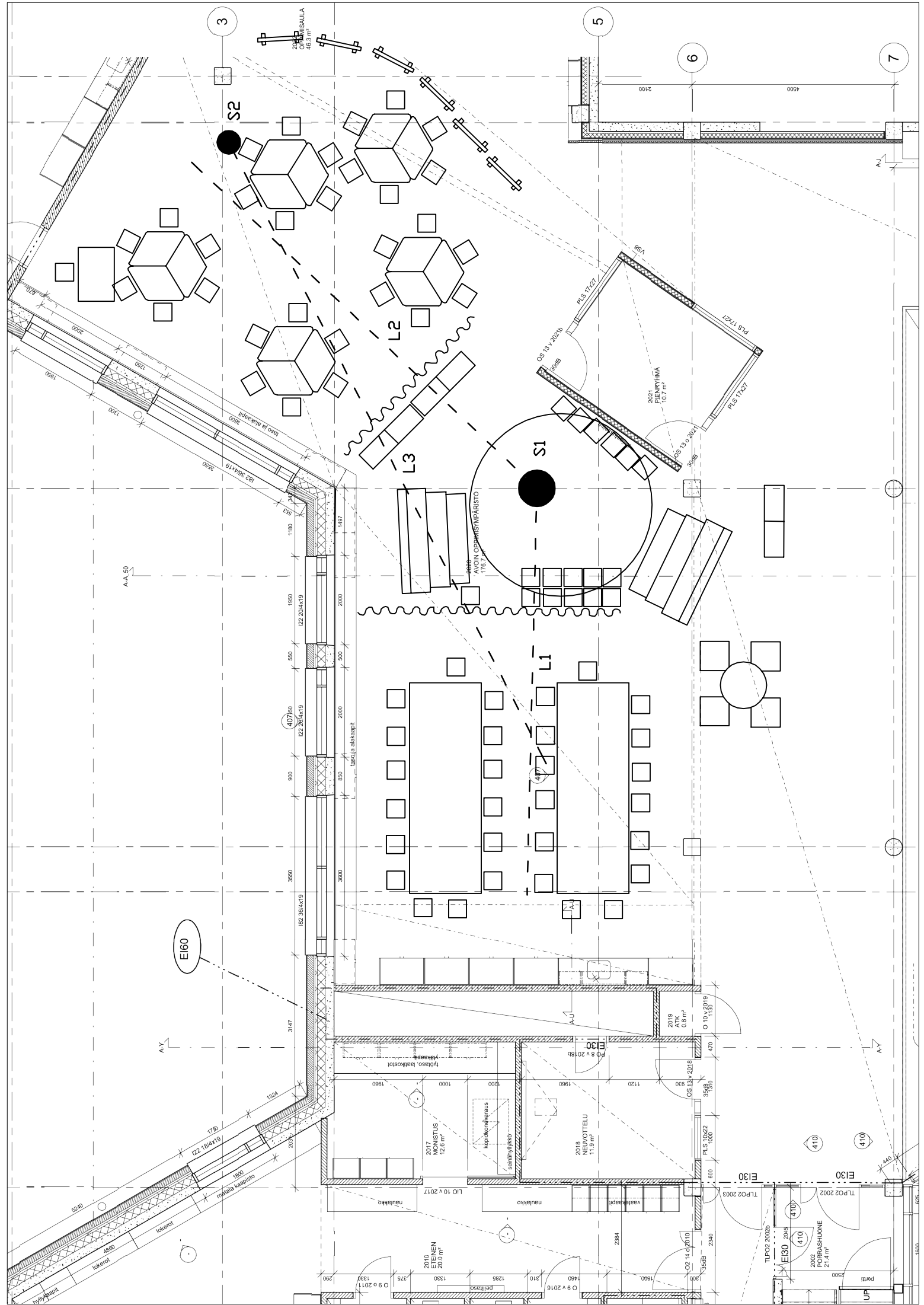
Linja 4:

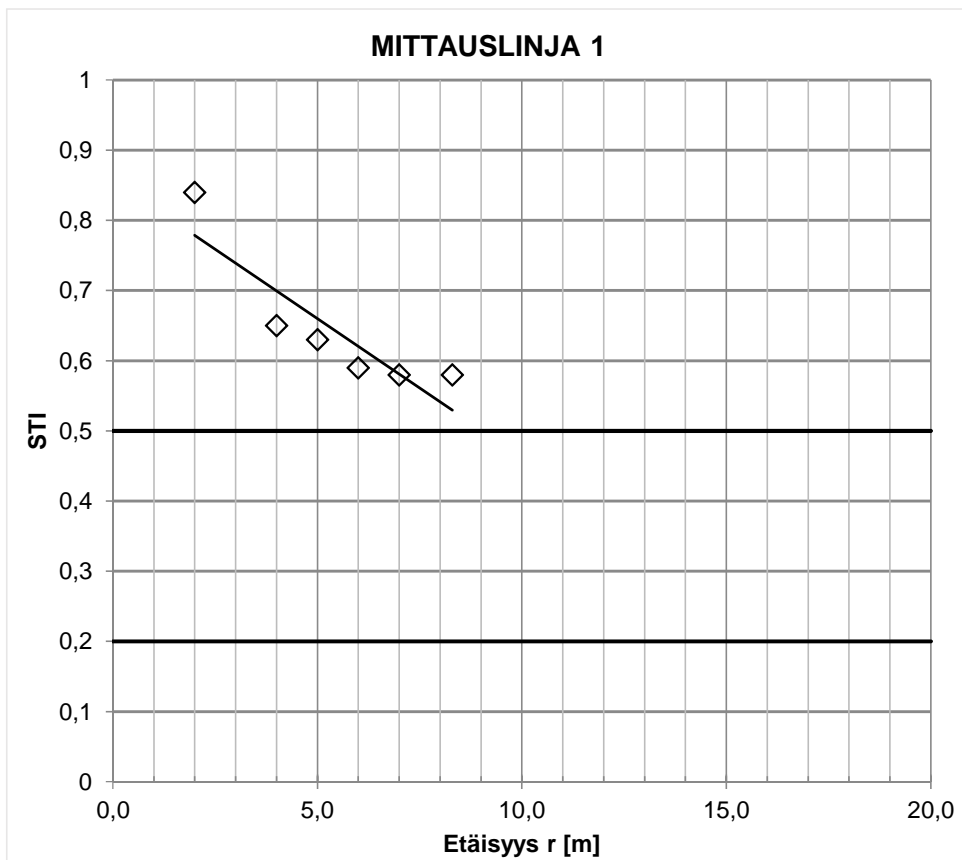
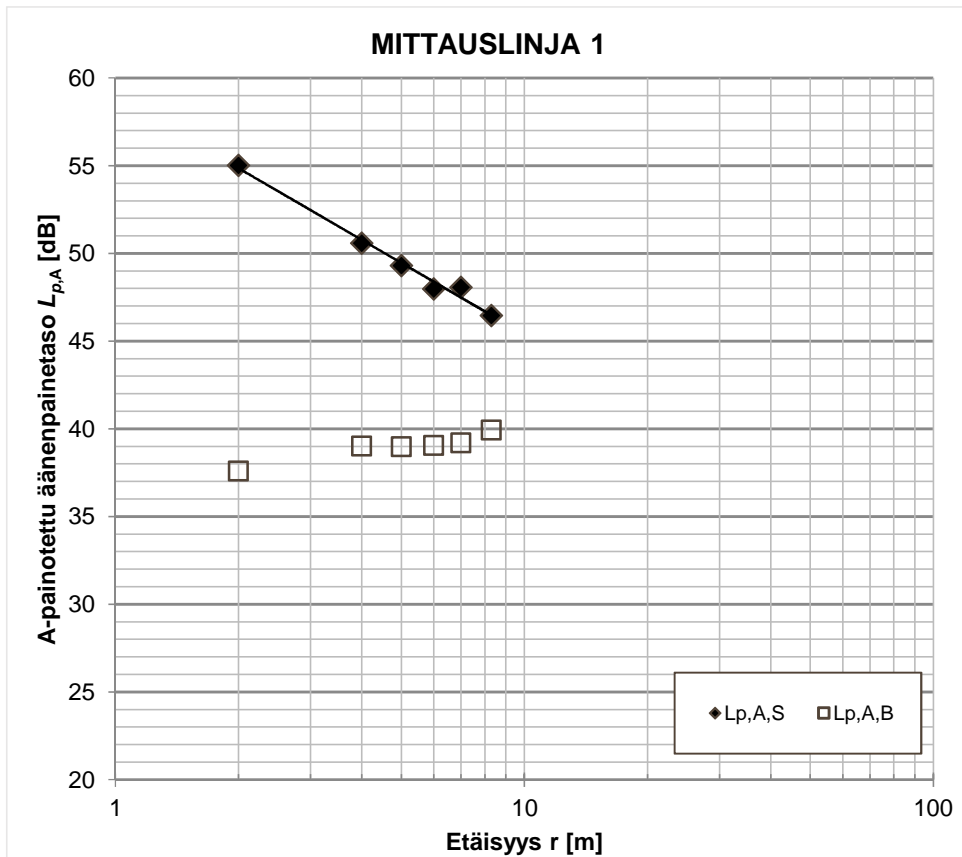
D2,S	2,6	dB
rd	-0,4	m
rp	14,9	m

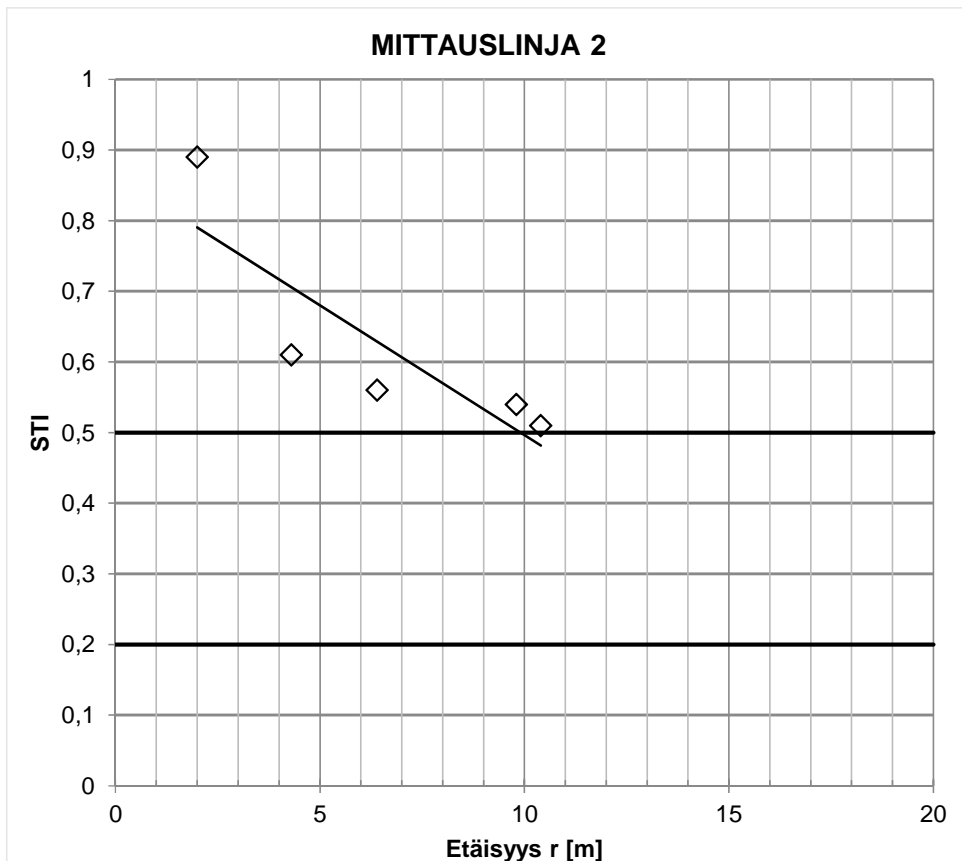
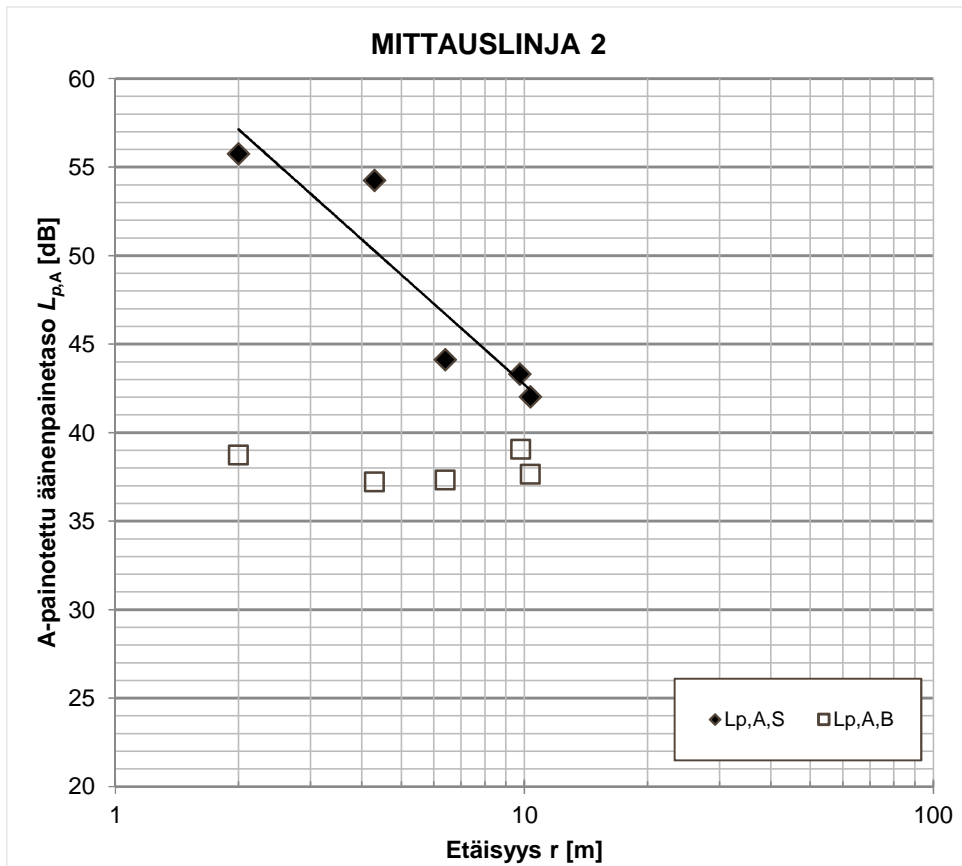
Linja 5:

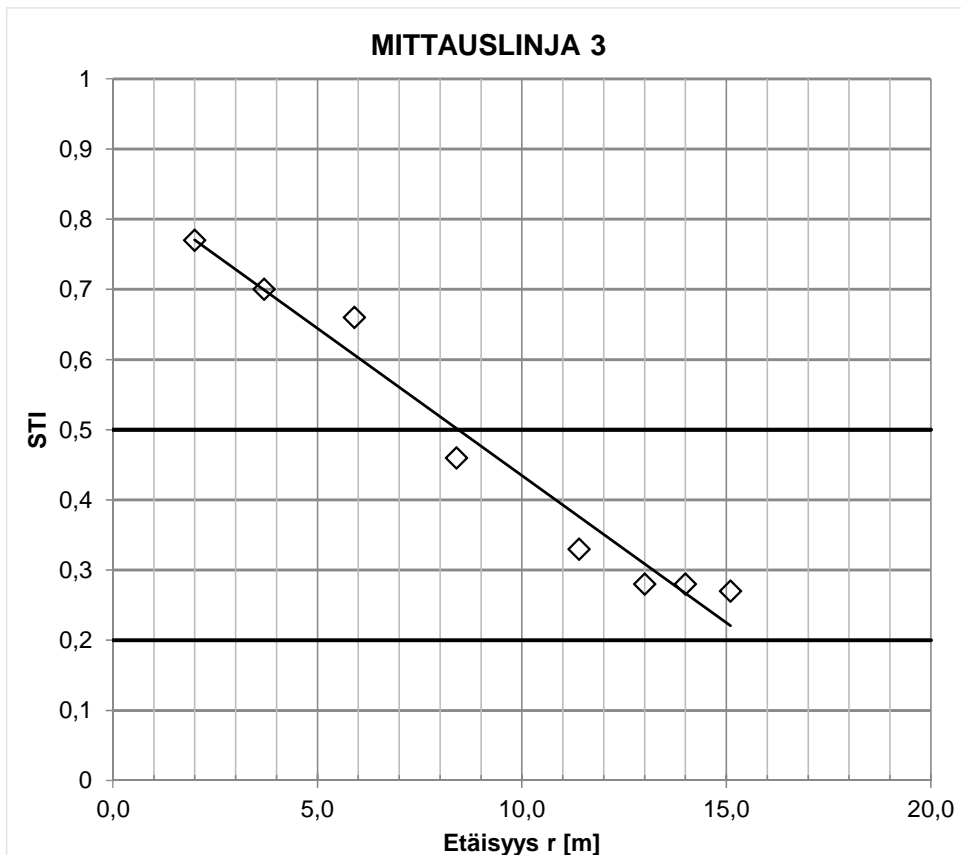
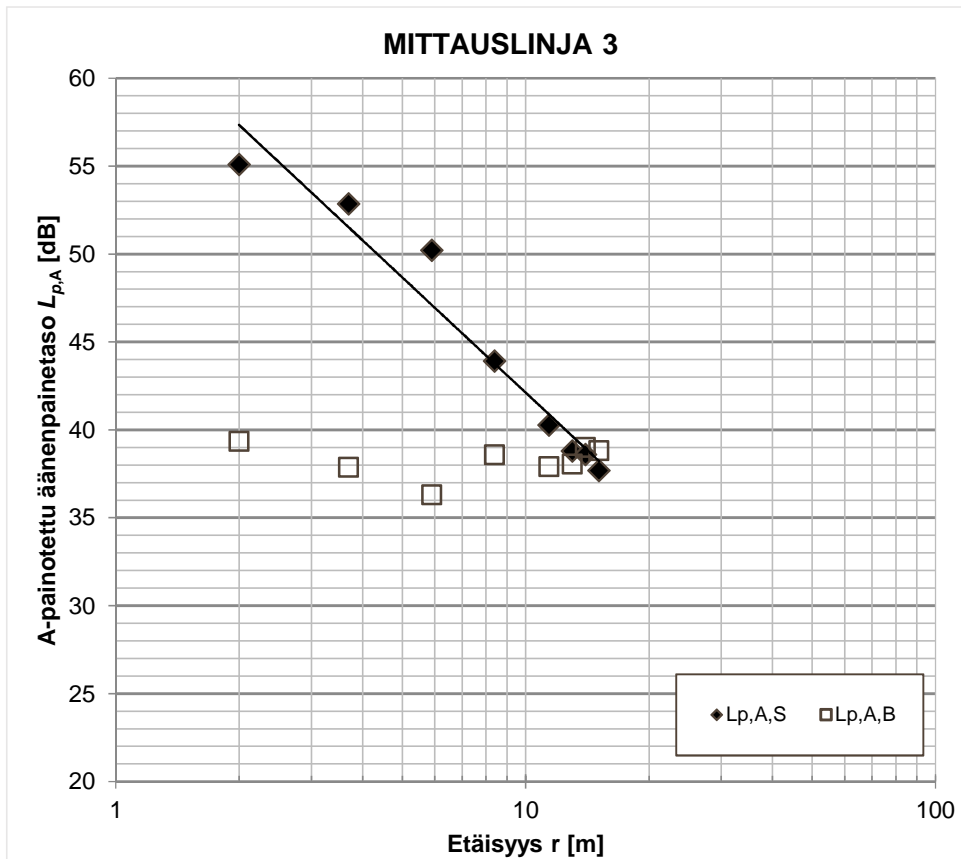
D2,S	5,6	dB
rd	5,2	m
rp	9,9	m

LIITE E: KOULUN 2 MITTAUSTULOKSET









Koulu kaksi, avoin oppimisympäristö yksi, tulokset

Yksilukuarvot:

Linja 1:

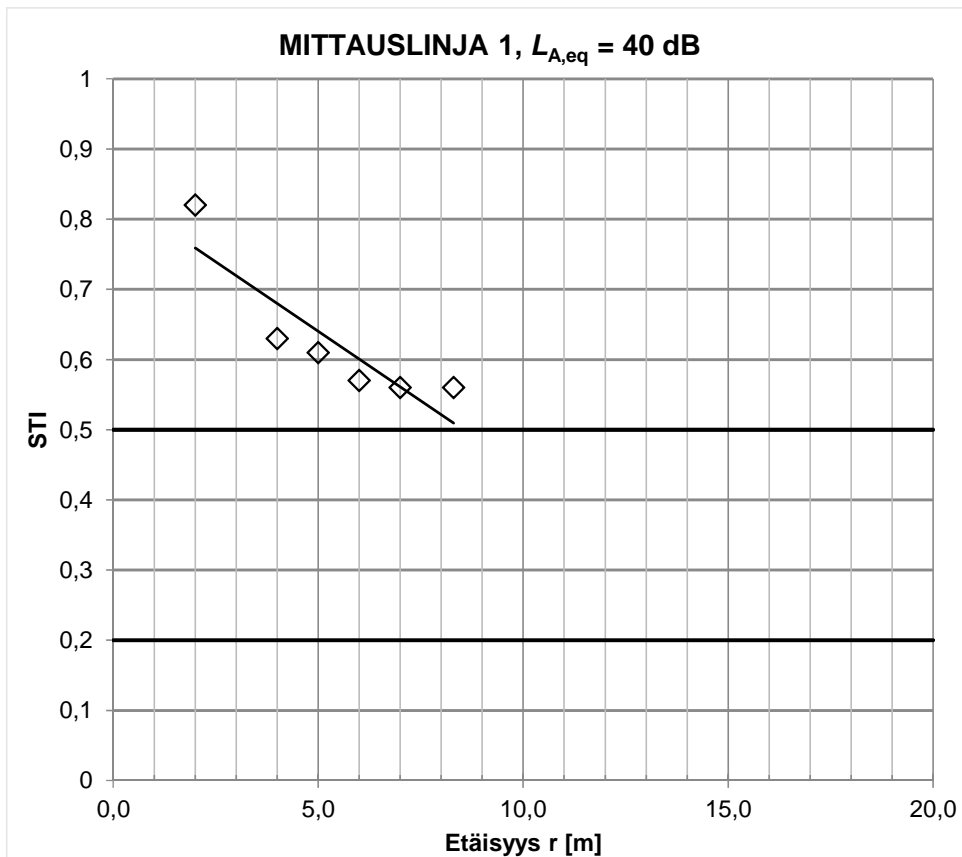
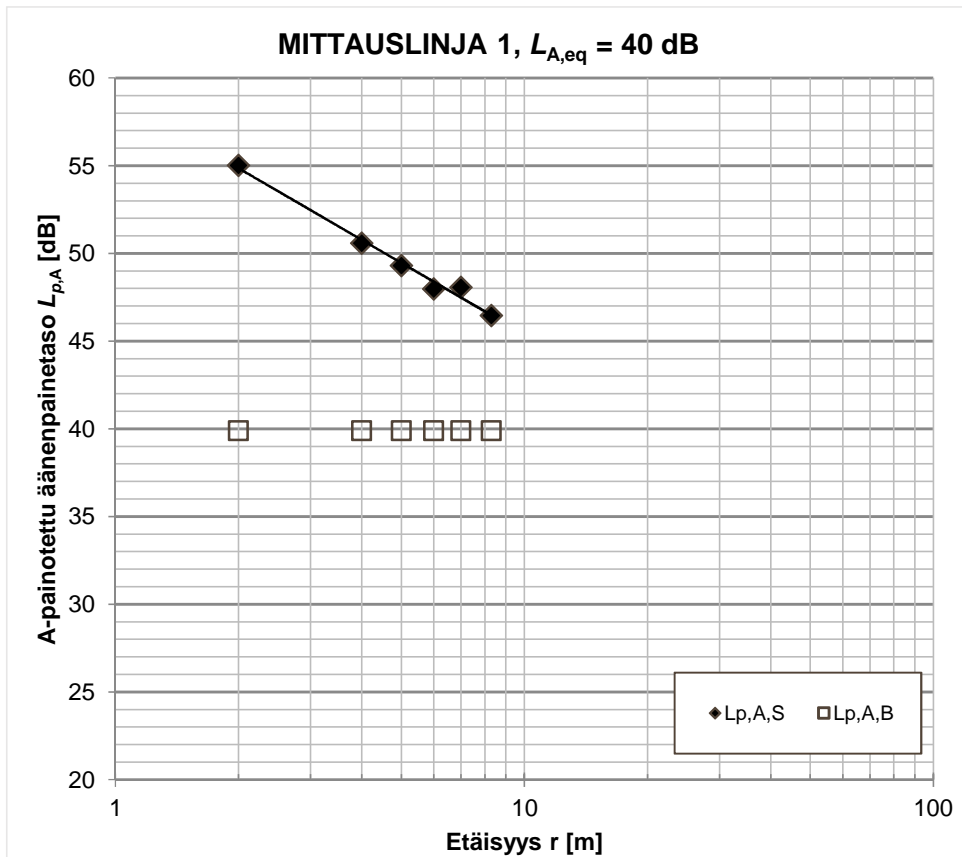
D2,S	4,1	dB
rd	11,5	m
rp	20,8	m

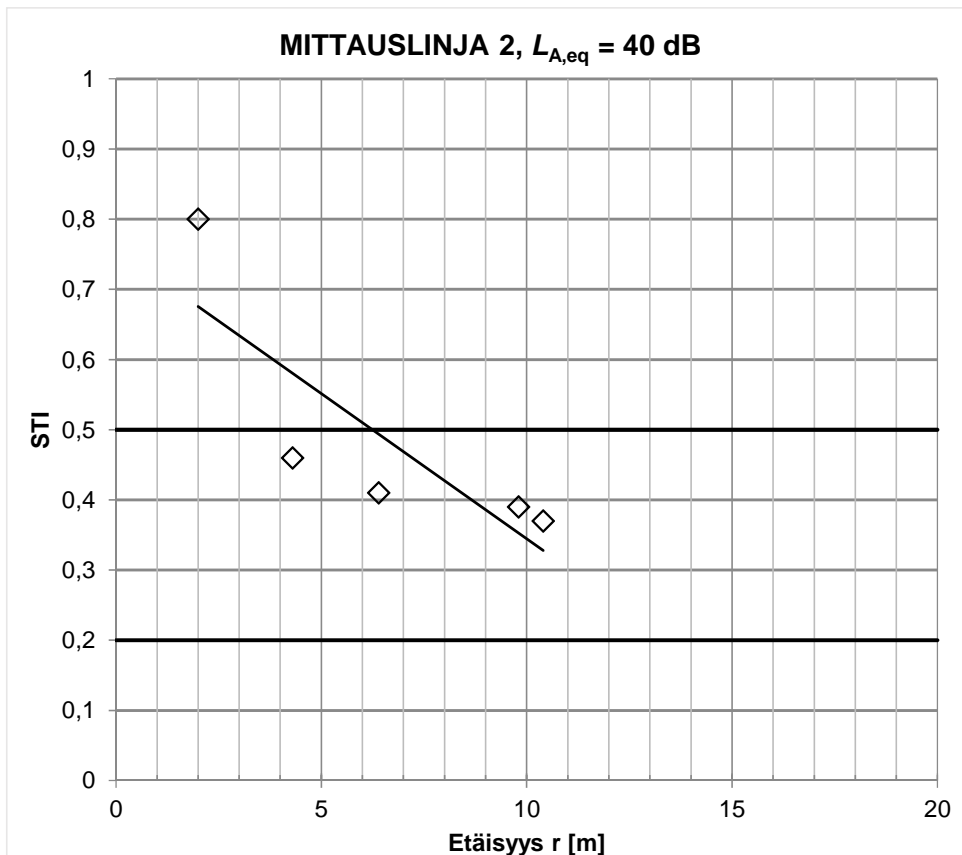
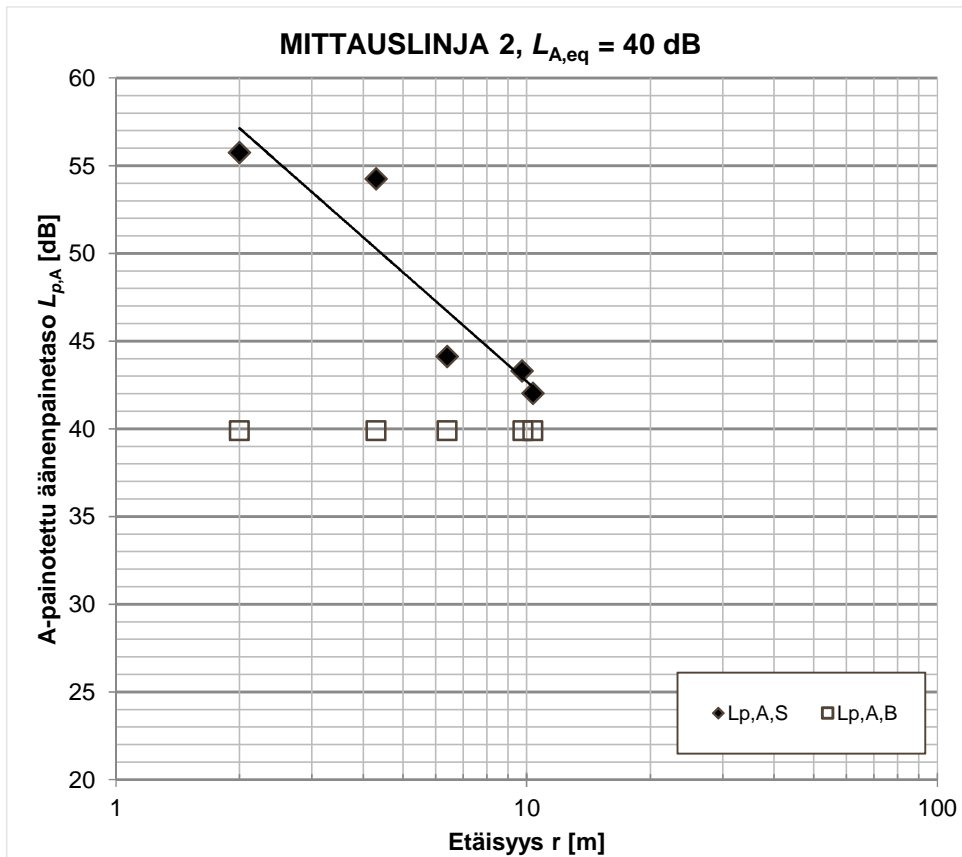
Linja 2:

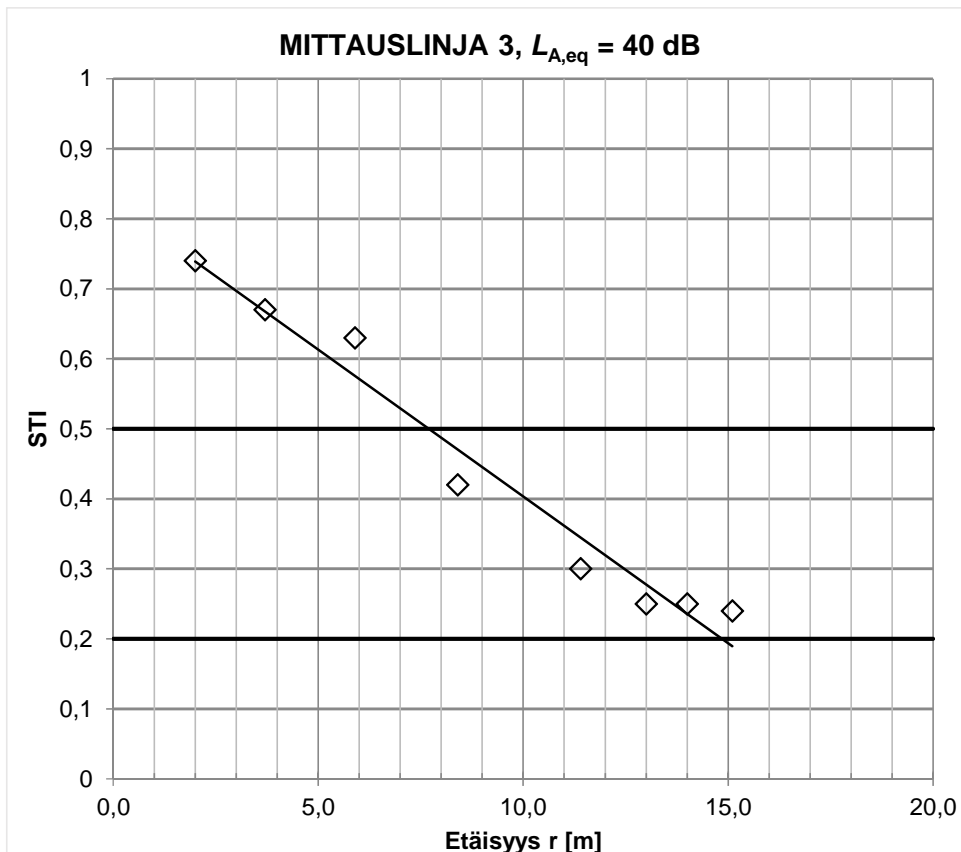
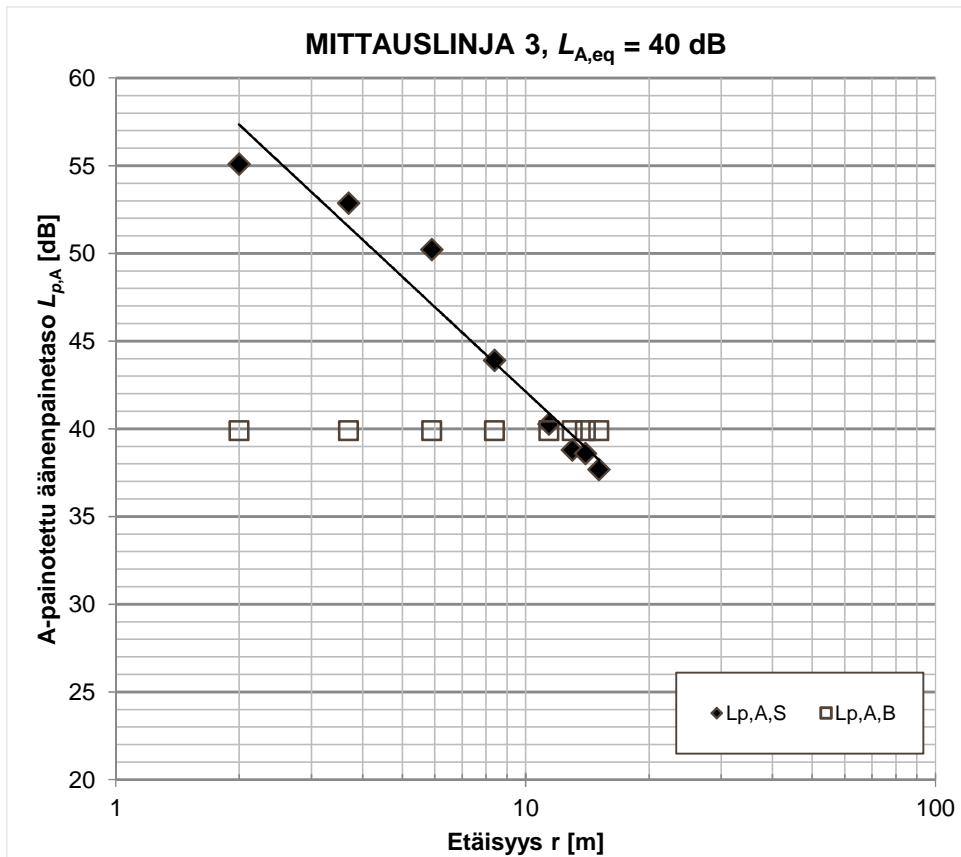
D2,S	6,2	dB
rd	9,9	m
rp	18,1	m

Linja 3:

D2,S	6,6	dB
rd	8,4	m
rp	15,6	m







Koulu kaksi, avoin oppimisympäristö yksi, tulokset, laskennallinen taustäänitaso LA,eq = 40 dB

Yksilukuarvot:

Linja 1:

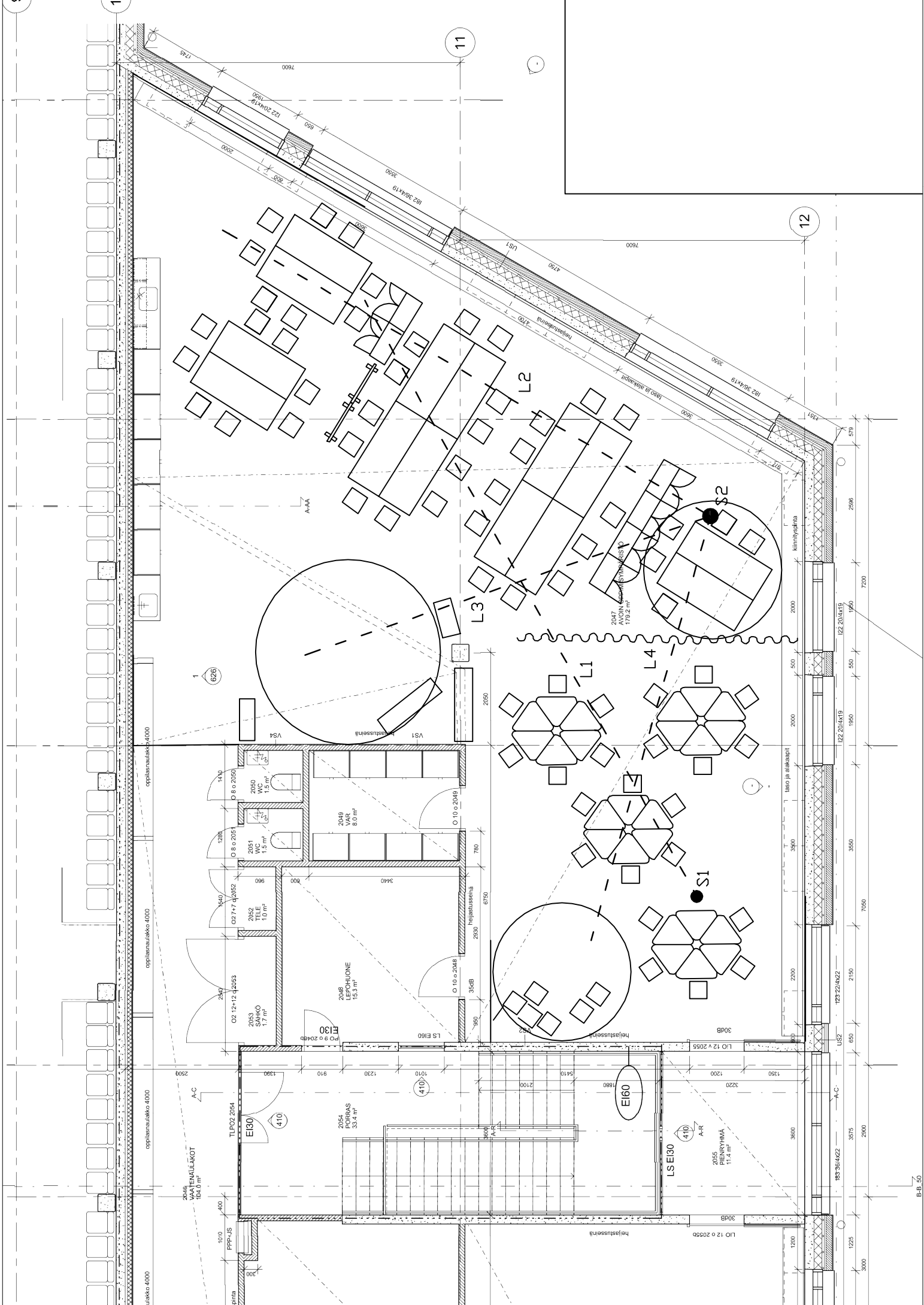
D2,S	4,1	dB
rd	10,8	m
rp	20,2	m

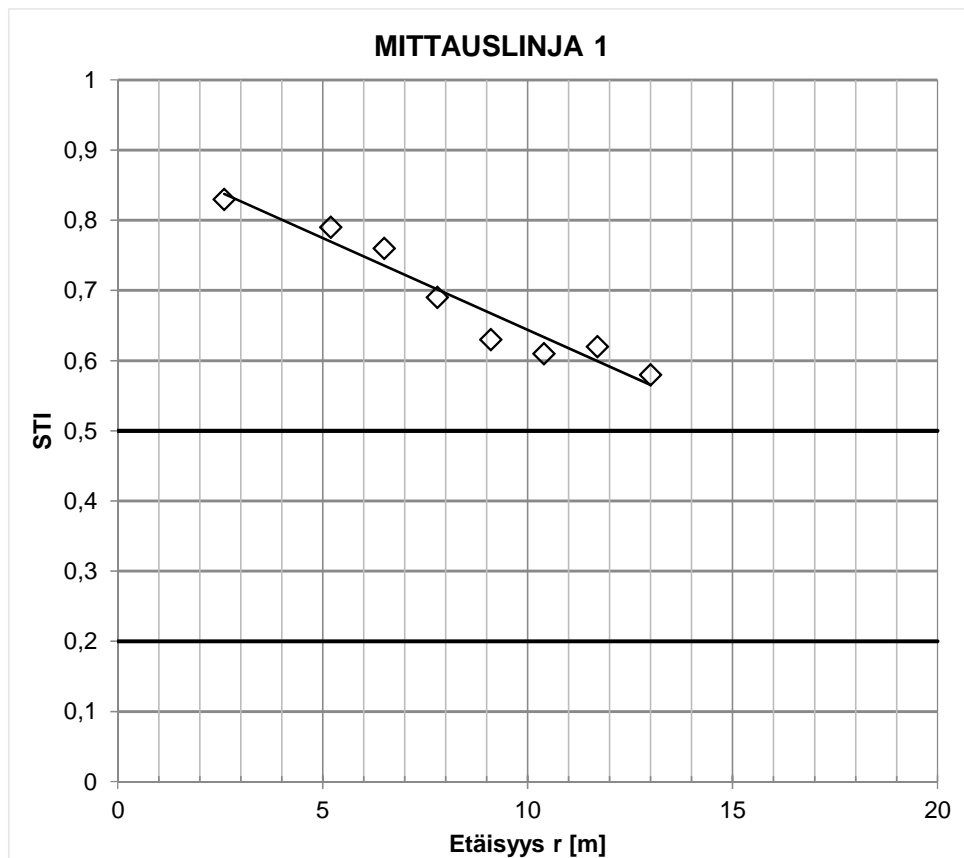
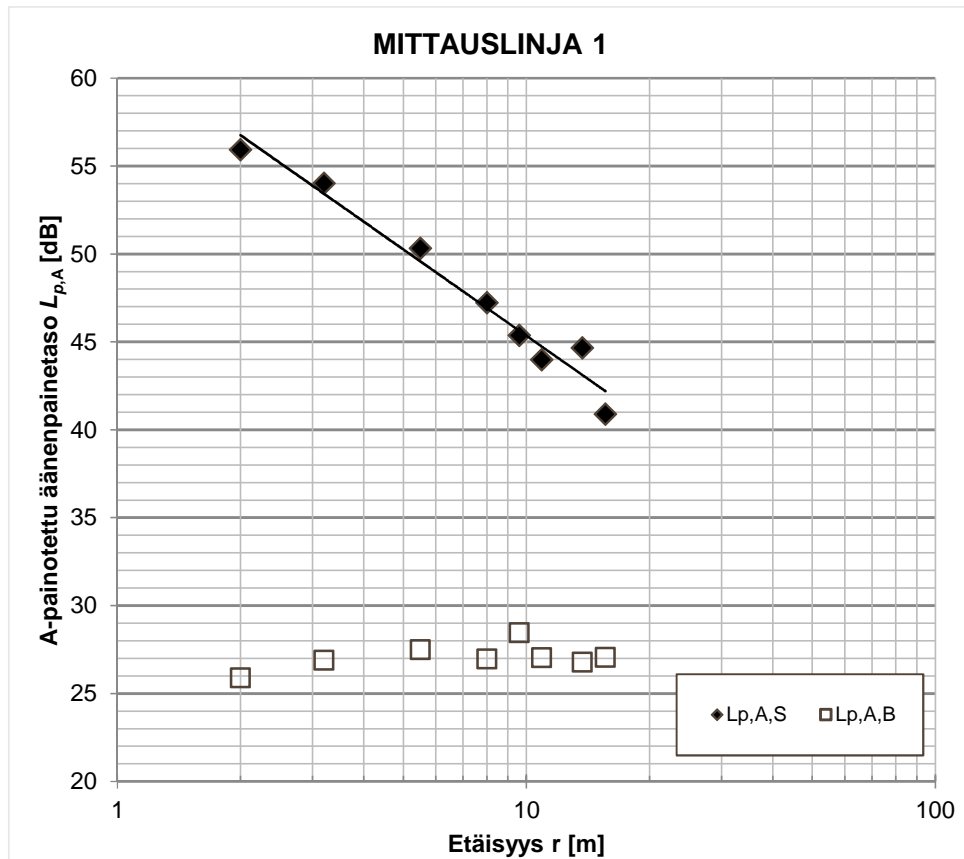
Linja 2:

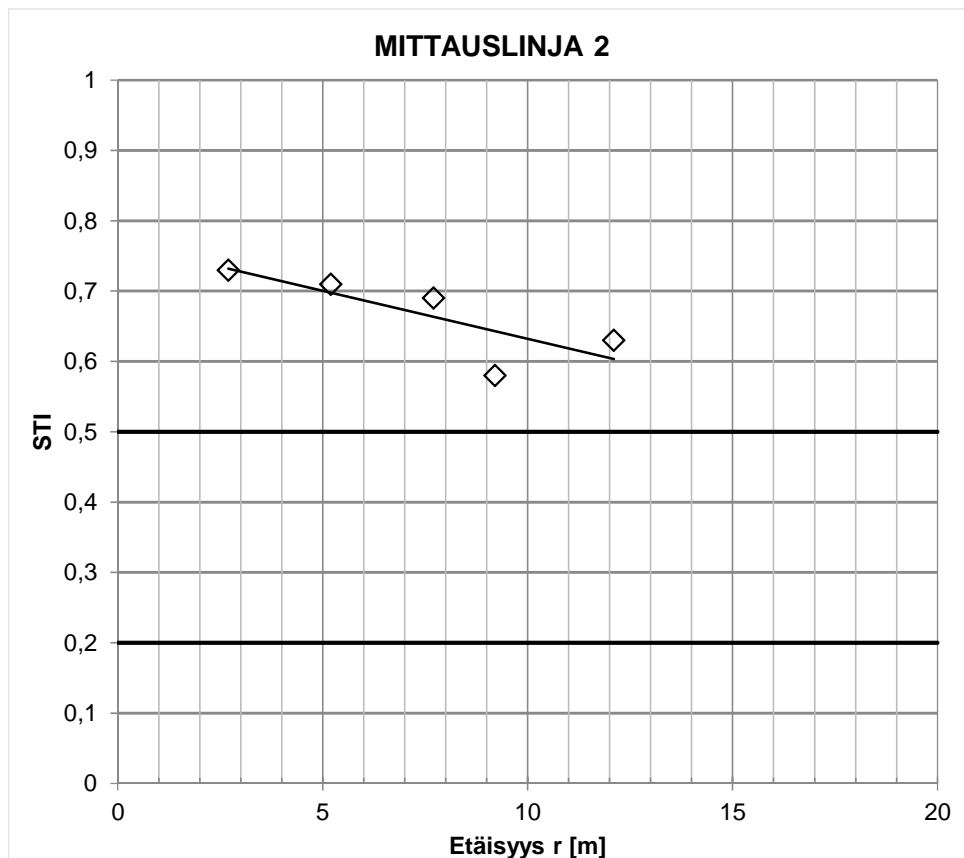
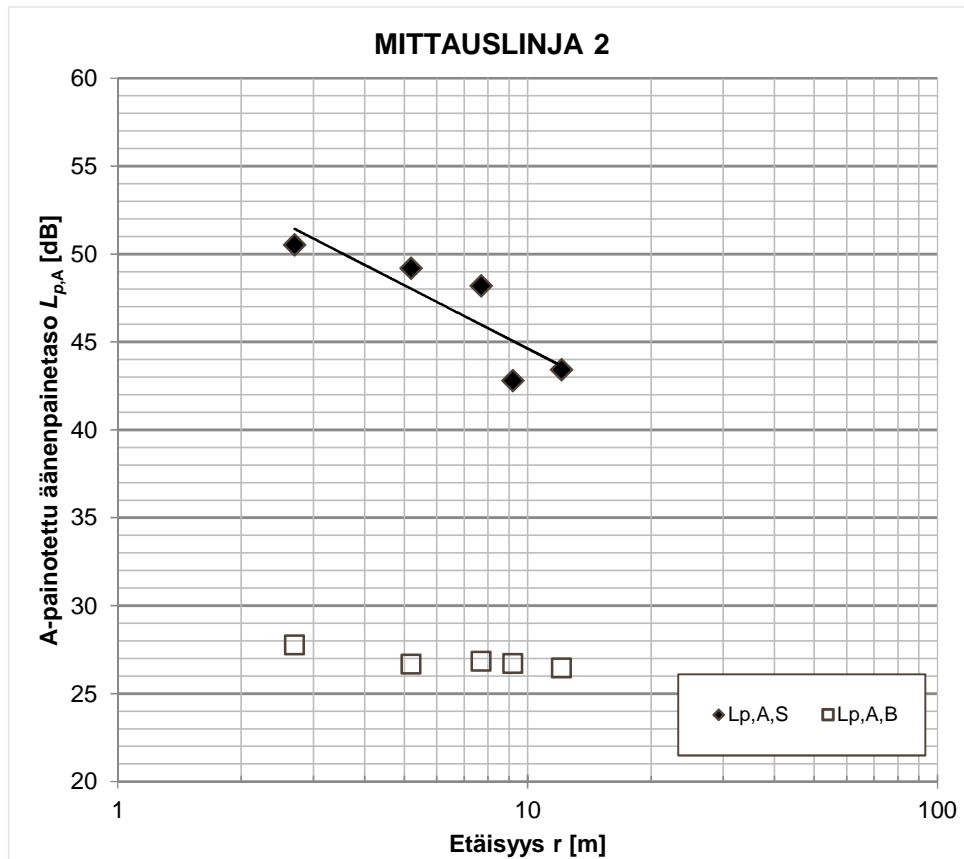
D2,S	6,2	dB
rd	6,2	m
rp	13,5	m

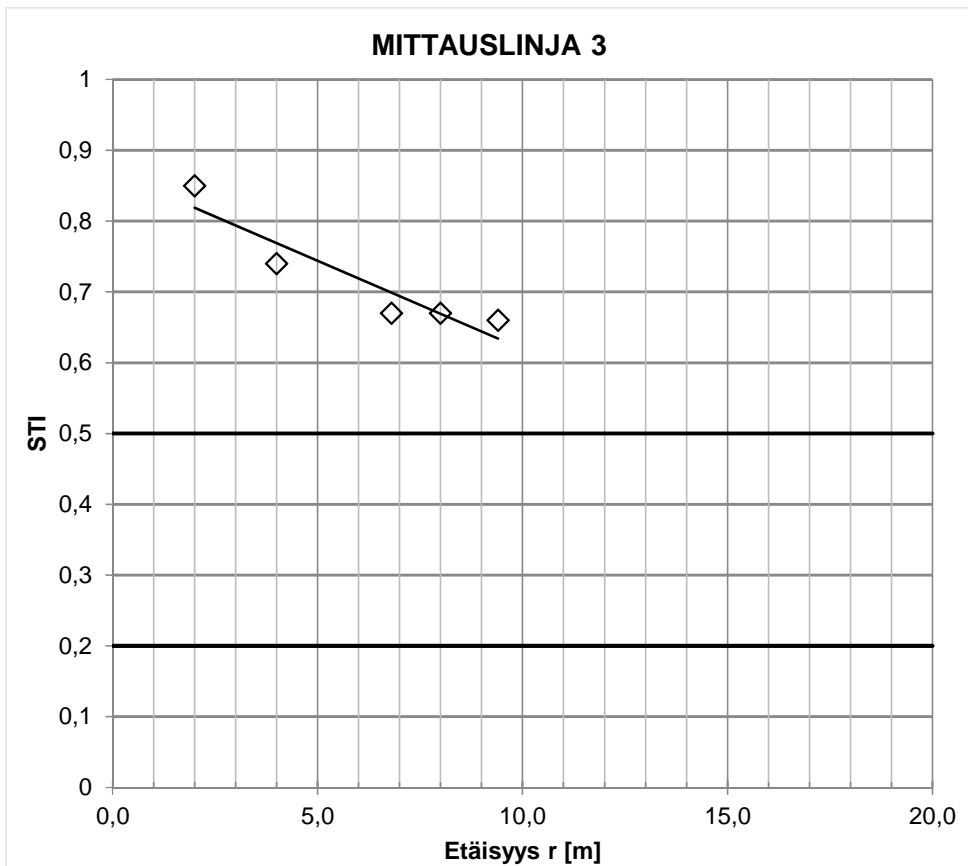
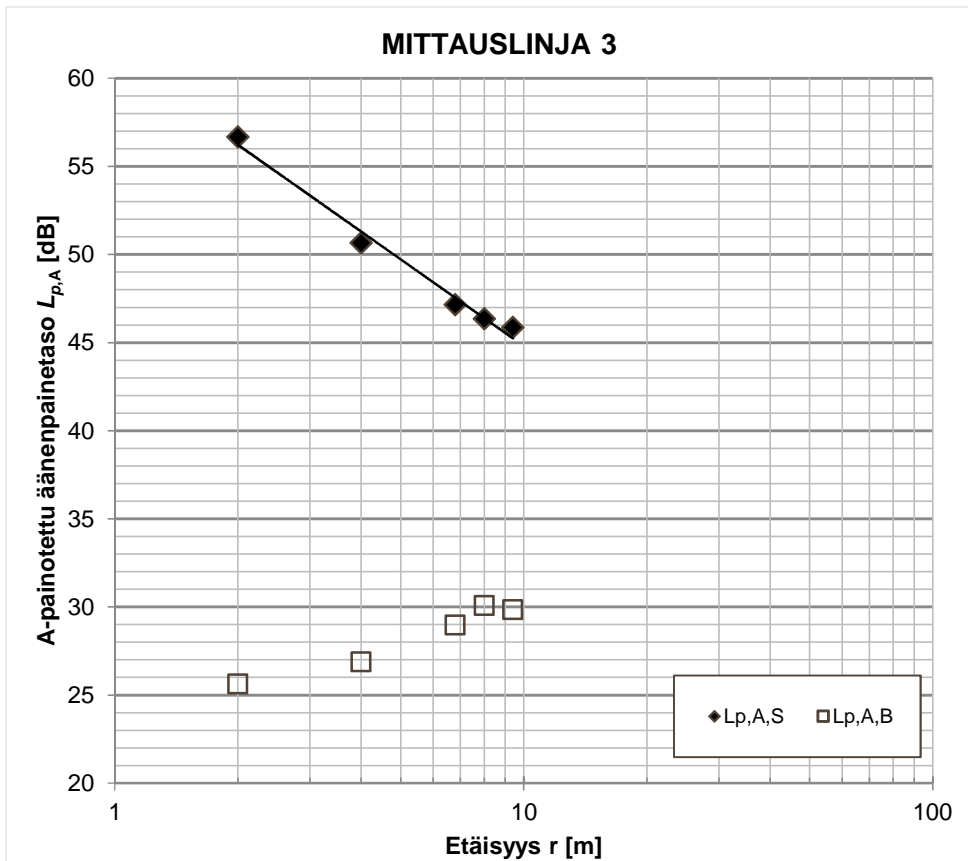
Linja 3:

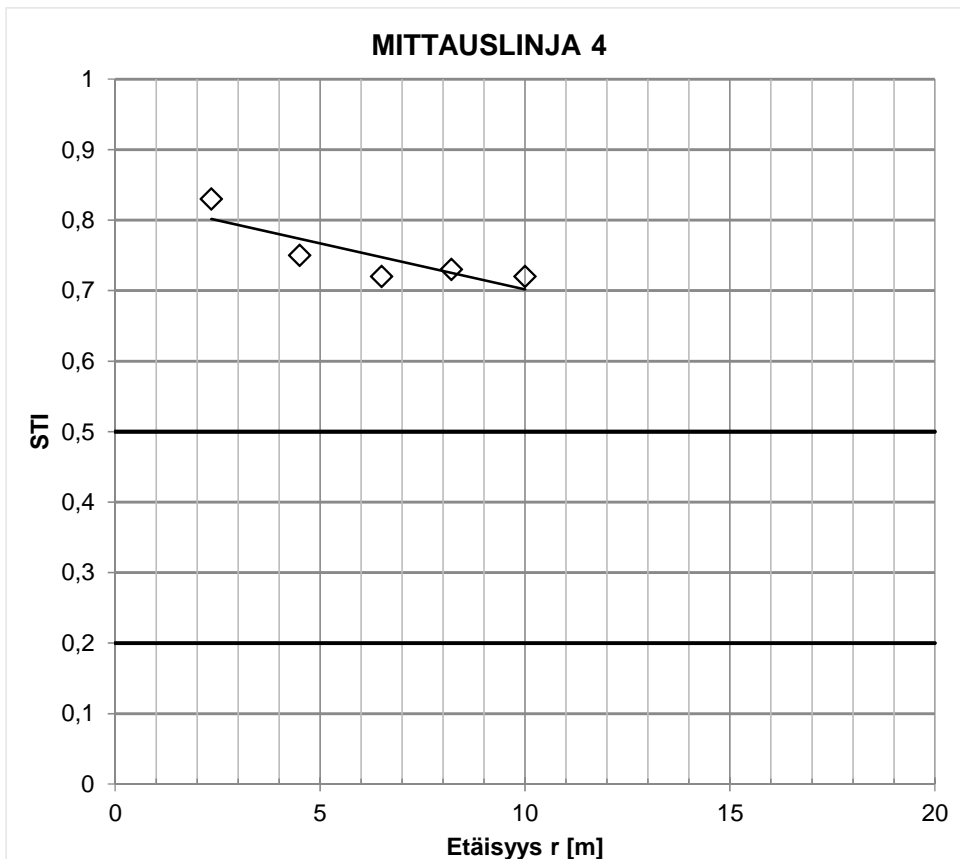
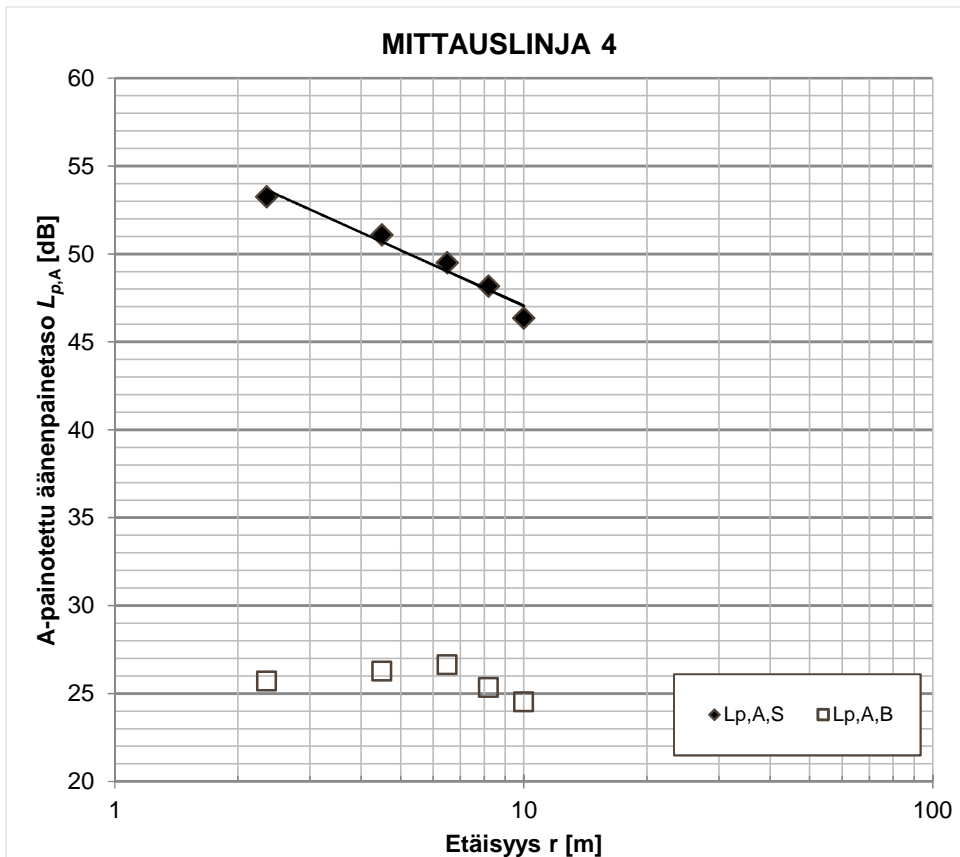
D2,S	6,6	
rd	7,7	m
rp	14,9	m











Koulu kaksi, avoin oppimisympäristö kaksi, mittaustulokset

Yksilukuarvot:

Linja 1:

D2,S	4,9	dB
rd	15,5	m
rp	27,0	m

Linja 2:

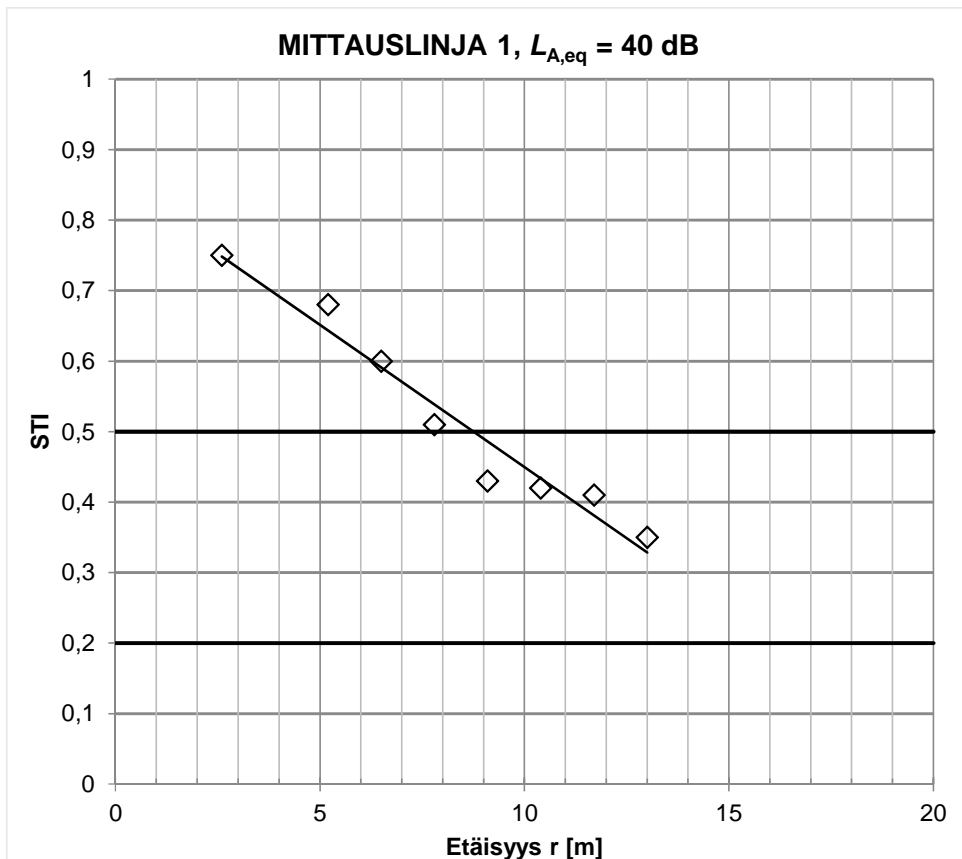
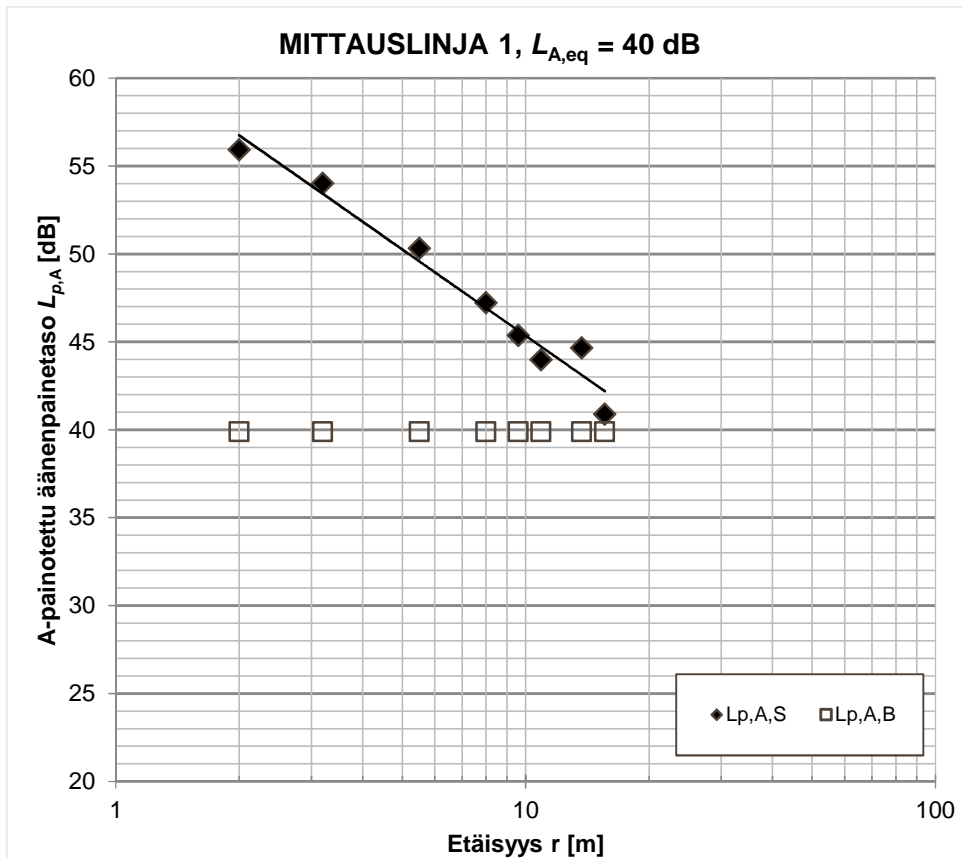
D2,S	3,6	dB
rd	19,7	m
rp	41,7	m

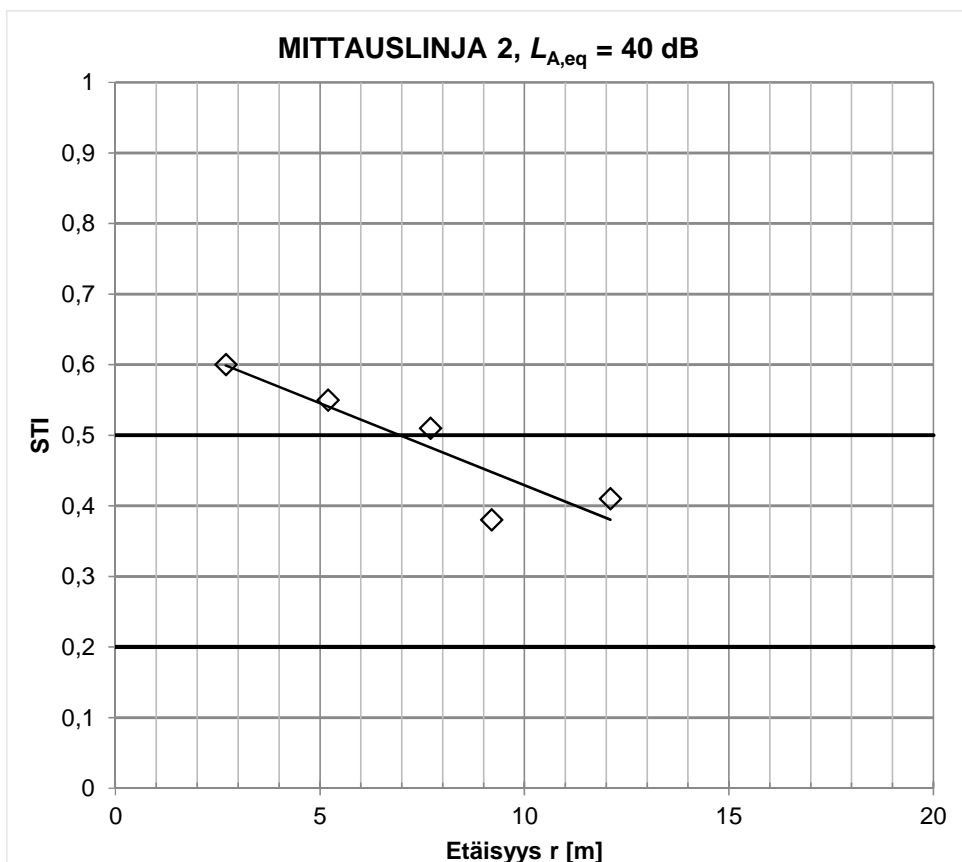
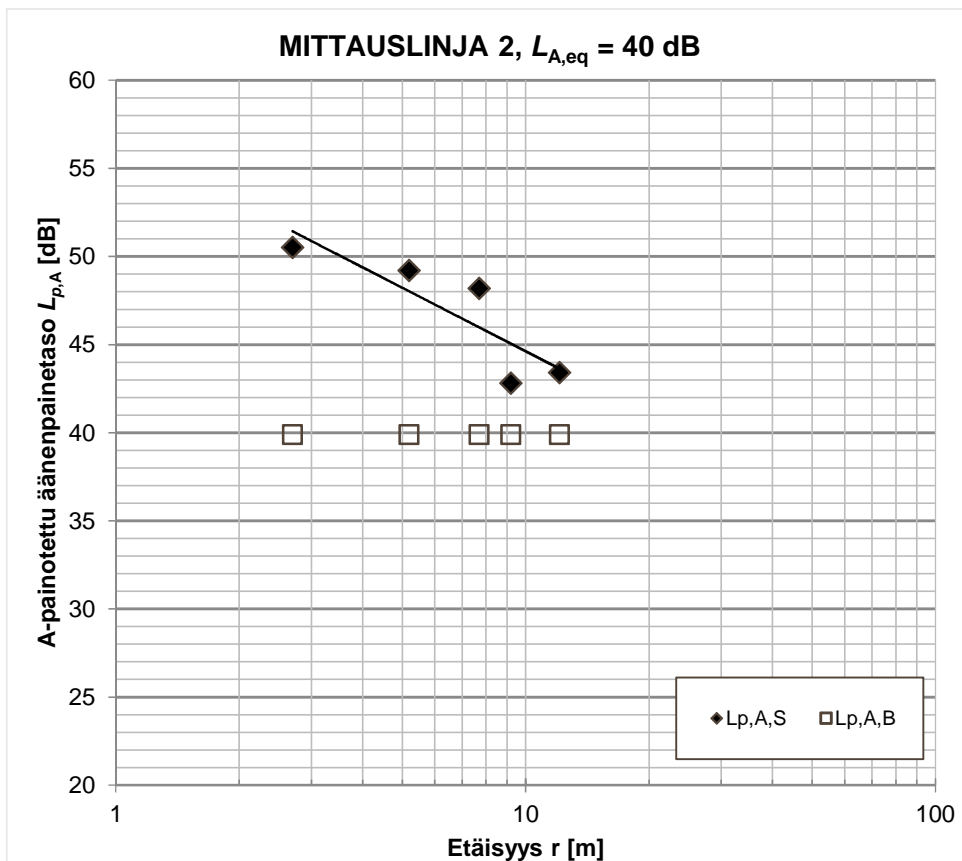
Linja 3:

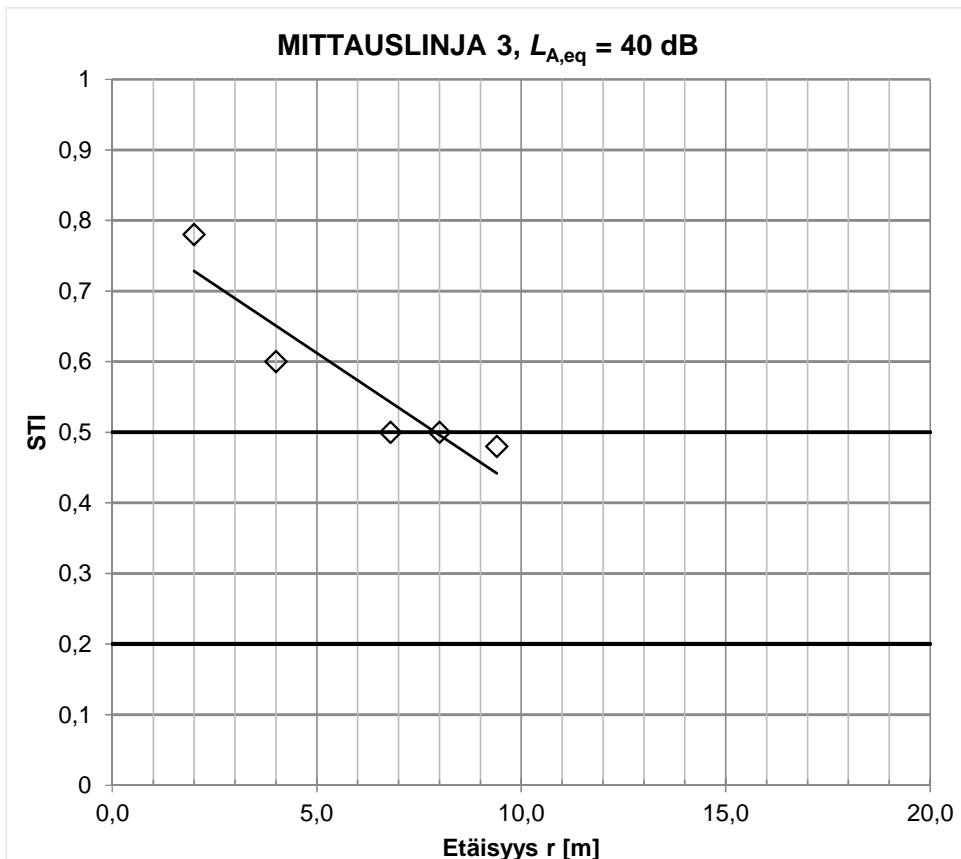
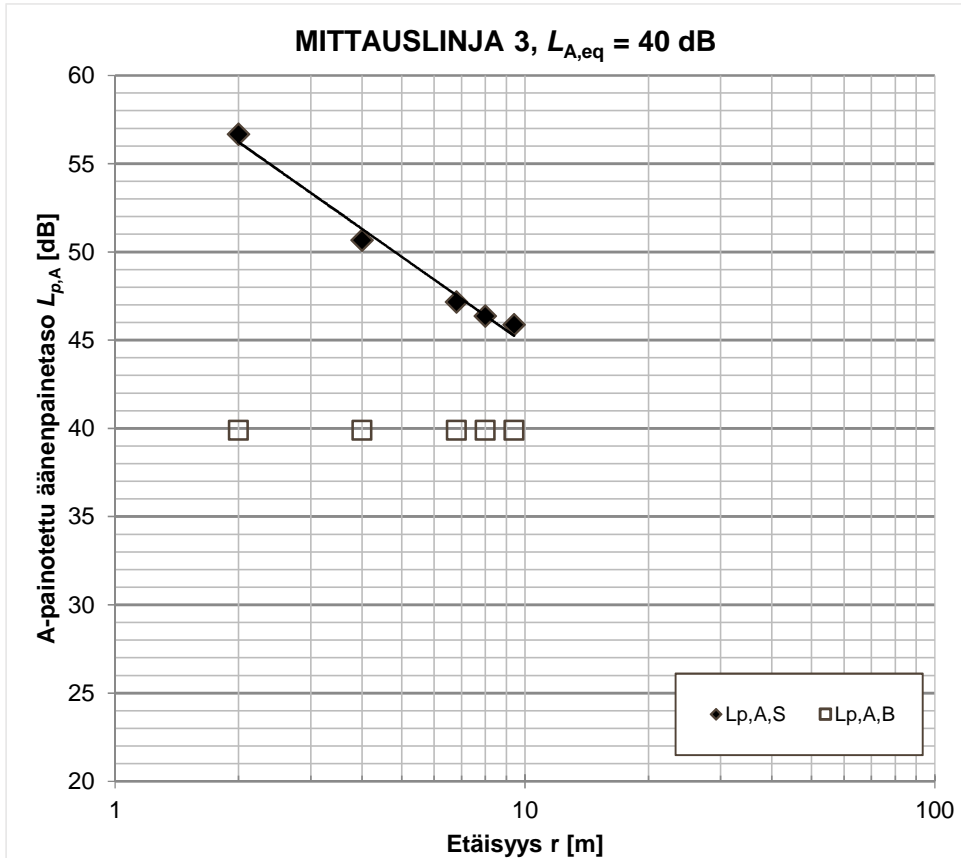
D2,S	4,9	dB
rd	14,8	m
rp	26,8	m

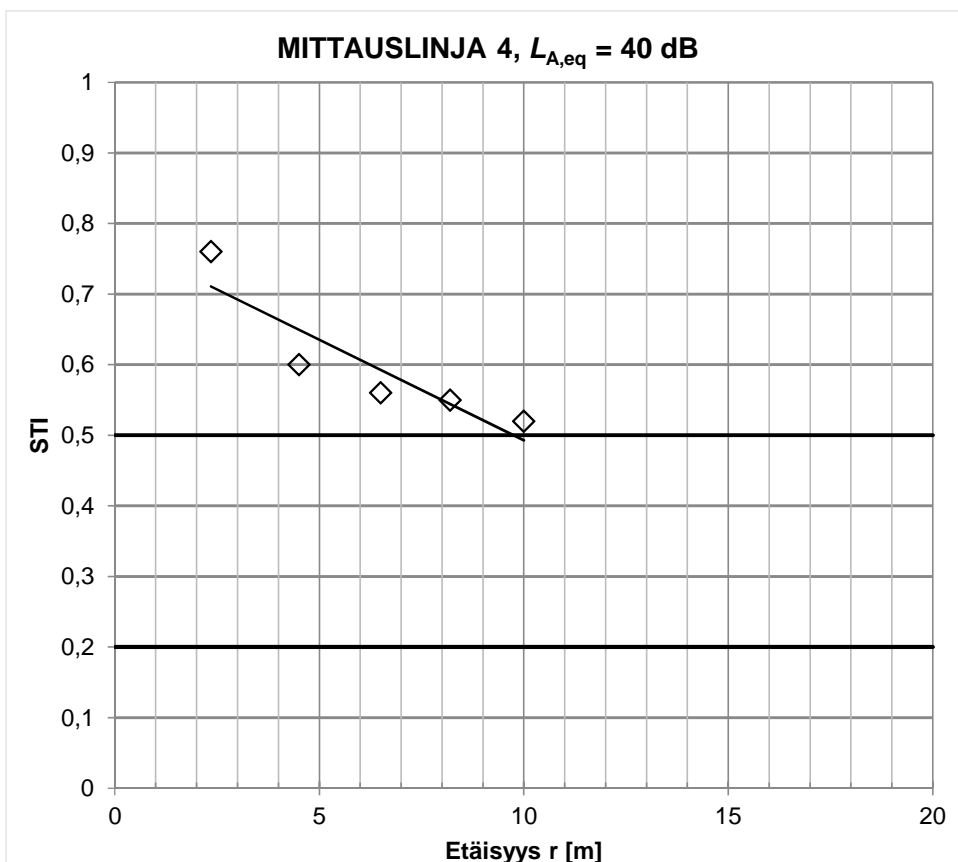
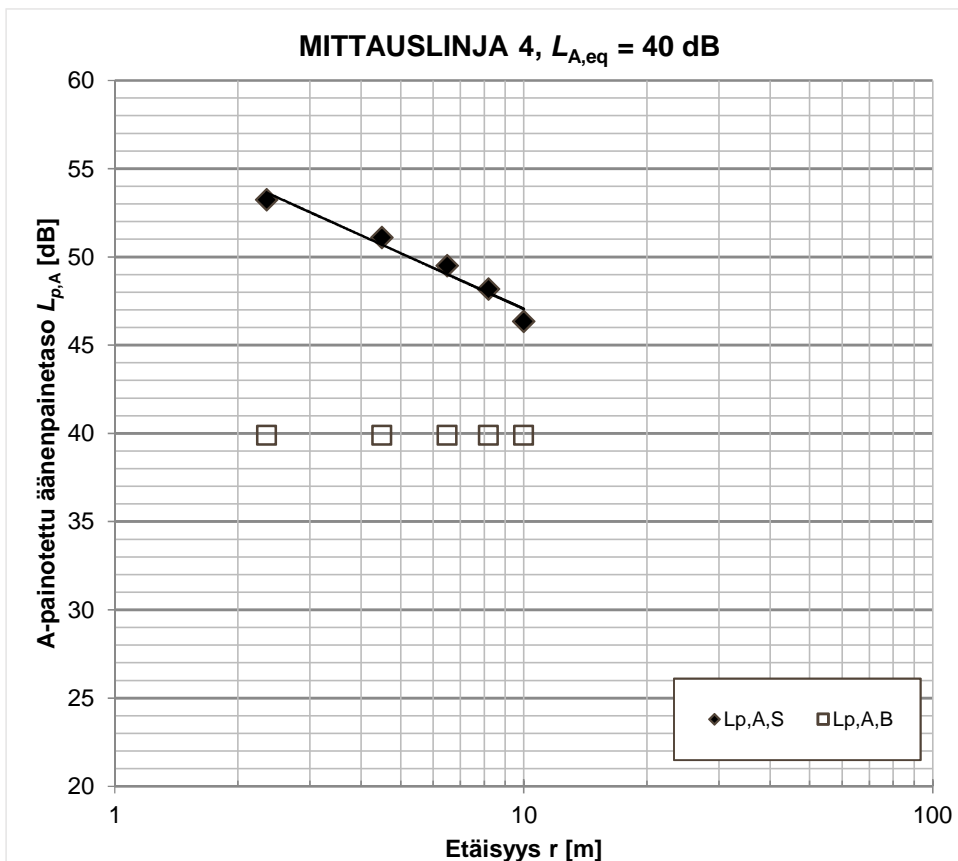
Linja 4:

D2,S	3,2	dB
rd	25,5	m
rp	48,6	m









Yksilukuarvot:

Linja 1:

D2,S	4,9	dB
rd	8,8	m
rp	16,2	m

Linja 2:

D2,S	3,6	dB
rd	6,9	m
rp	19,9	m

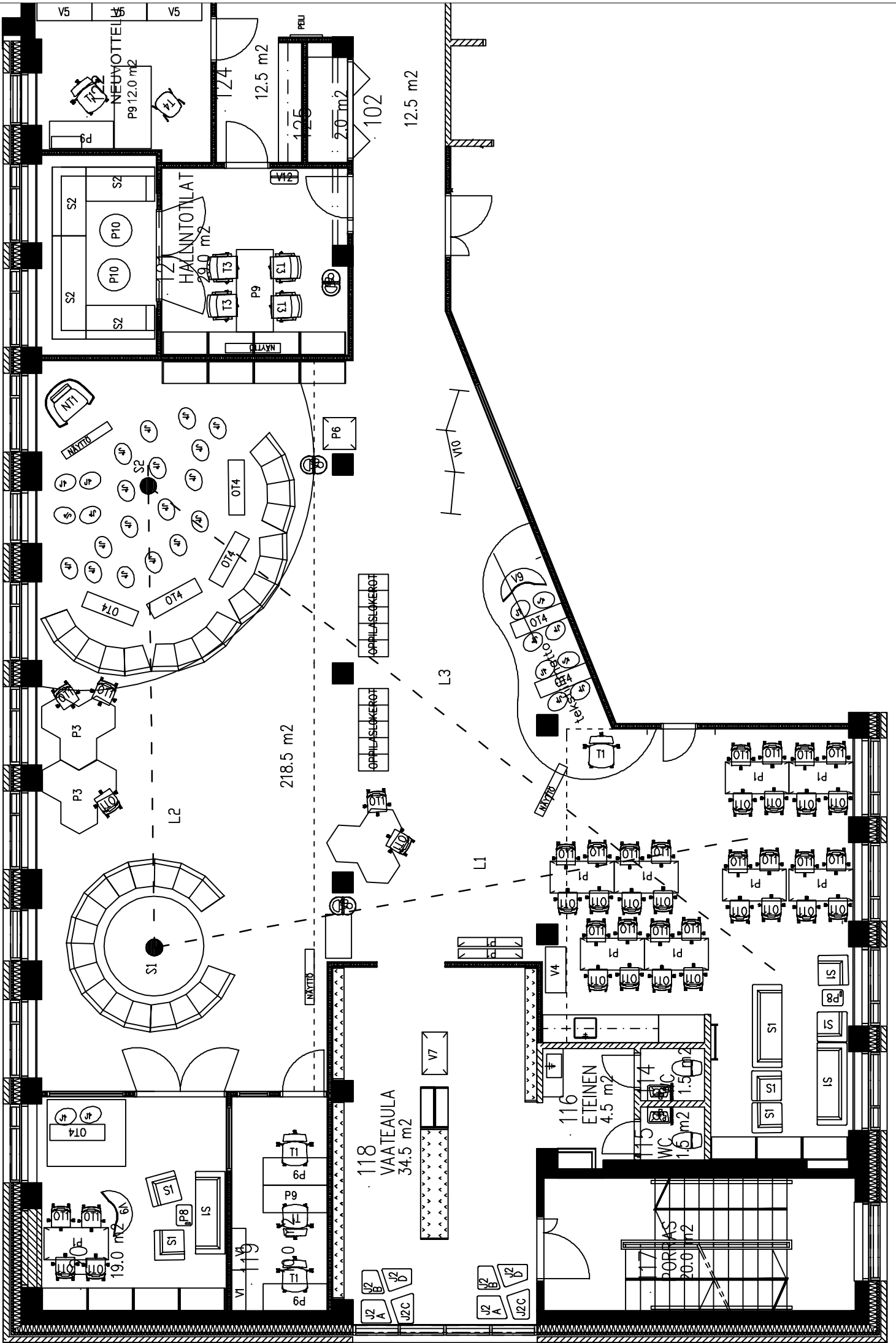
Linja 3:

D2,S	4,9	dB
rd	7,9	m
rp	15,6	m

Linja 4:

D2,S	3,2	dB
rd	9,7	m
rp	20,3	m

LIITE F: KOULUN 3 MITTAUSTULOKSET



V5 V5

117

NEUVOTTELU
P9 12.0 m²

124

12.5 m²

125

PEU

2.0 m²

102

12.5 m²

S2 S2
P10 P10
S2 S2

HALLINTOTILAT
30.0 m²

P9

T3 T3

E1 E1

NAUTTO

N11

NAUTTO

S2

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

P3

P3

L2

S1

NAUTTO

118

VAAKTEAULA
34.5 m²

V1

V2 A

V2 B

V2 C

V2 D

V7

V4

L1

L3

V9

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

OT4

19.0 m²

S1

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

IS

116

ETEINEN
4.5 m²

115

WC
1.5 m²

114

1.5 m²

S1

S1

S1

S1

S1

IS

IS

IS

IS

IS

117

PORAS
20.0 m²

113

1.5 m²

112

2.0 m²

S1

S1

S1

S1

S1

IS

IS

IS

IS

IS

117

PORAS
20.0 m²

113

1.5 m²

112

2.0 m²

S1

S1

S1

S1

S1

IS

IS

IS

IS

IS

117

PORAS
20.0 m²

113

1.5 m²

112

2.0 m²

S1

S1

S1

S1

S1

IS

IS

IS

IS

IS

117

PORAS
20.0 m²

113

1.5 m²

112

2.0 m²

S1

S1

S1

S1

S1

IS

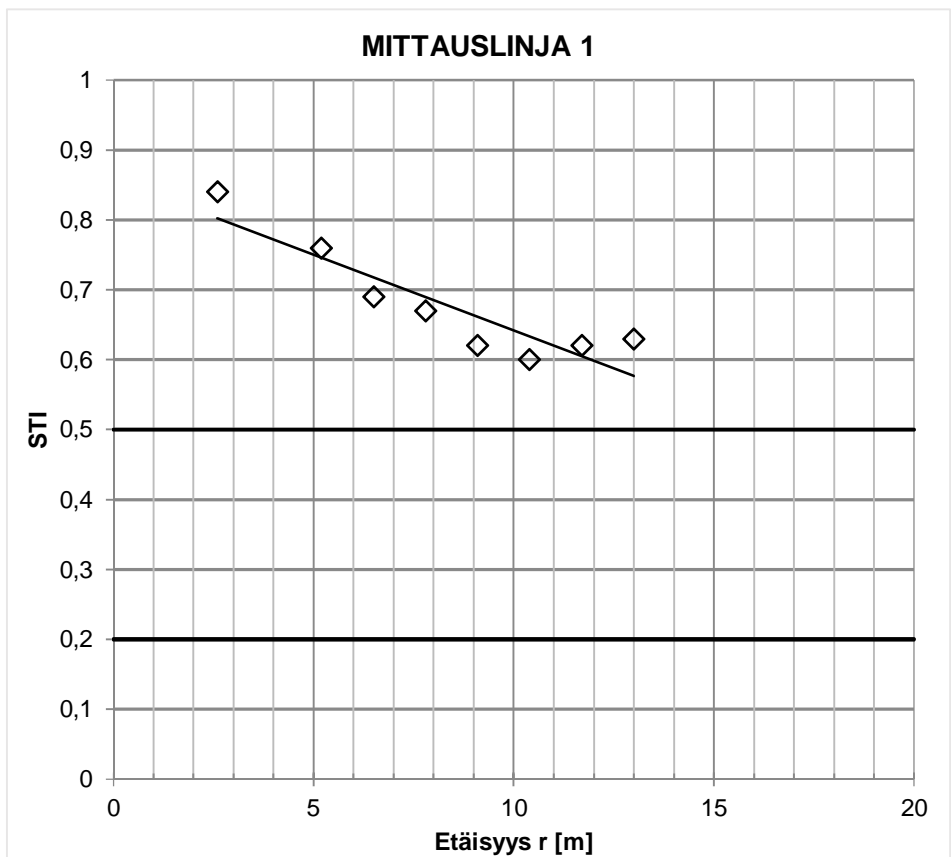
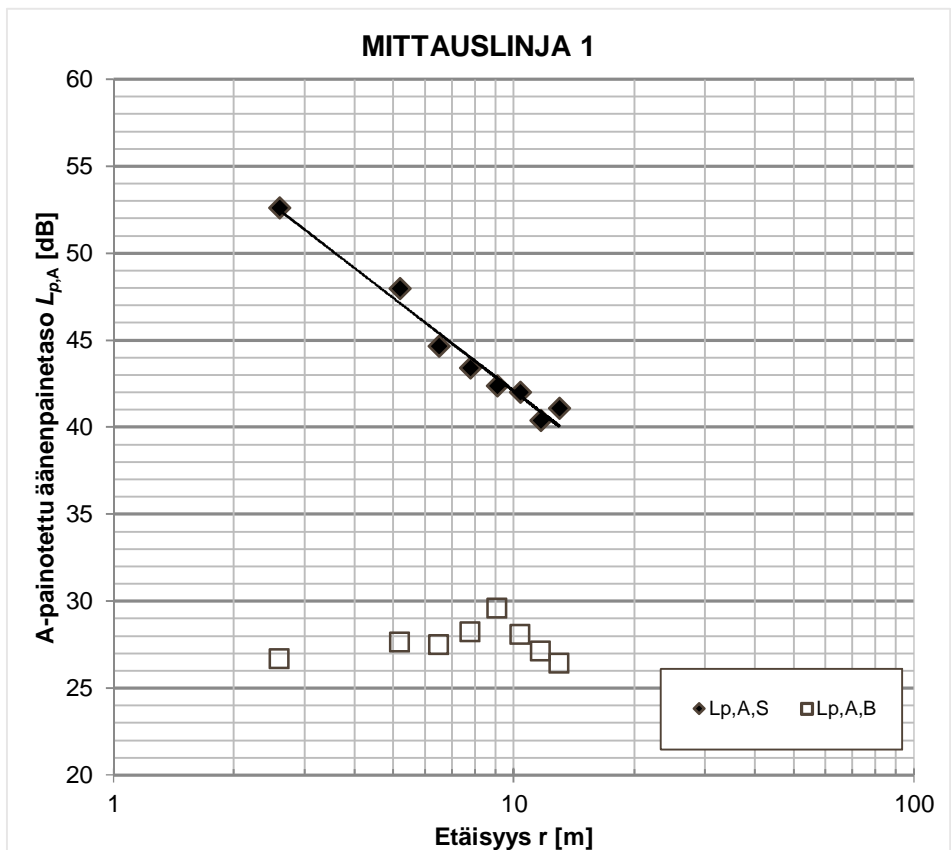
IS

IS

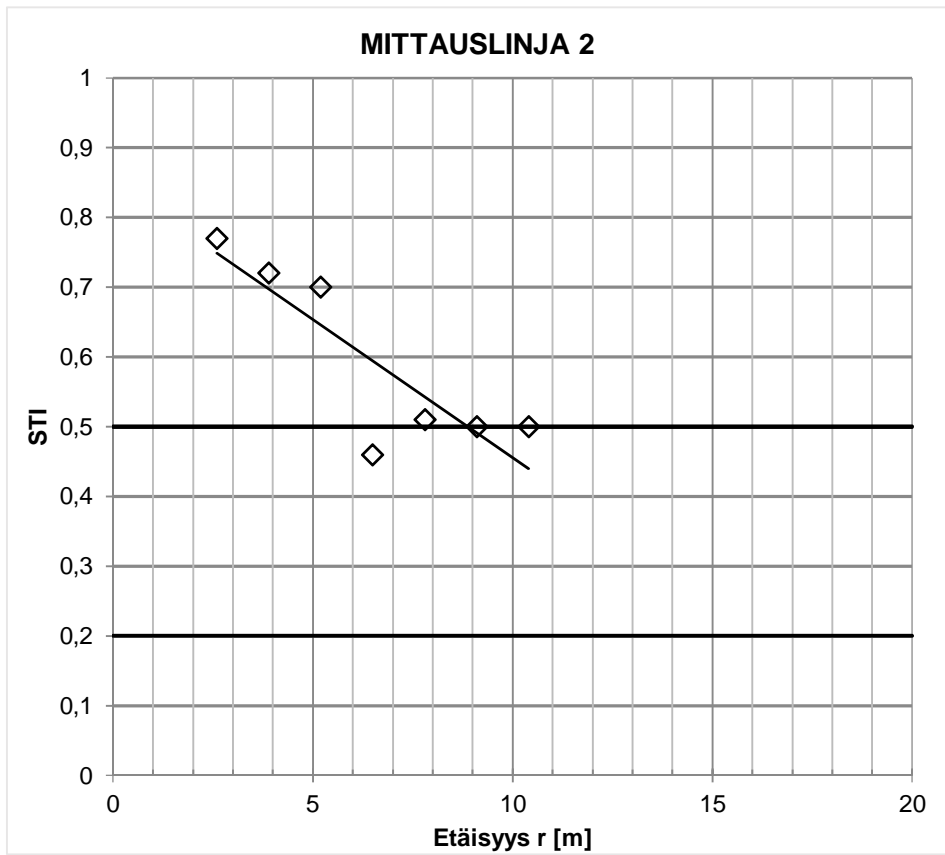
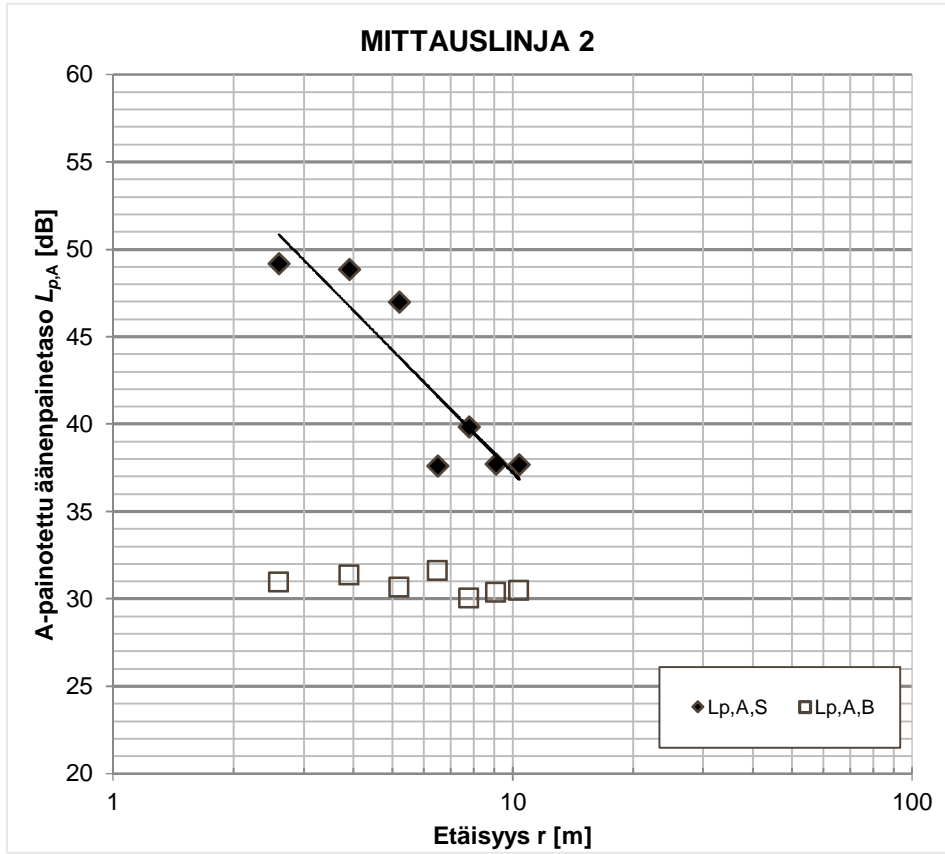
IS

IS

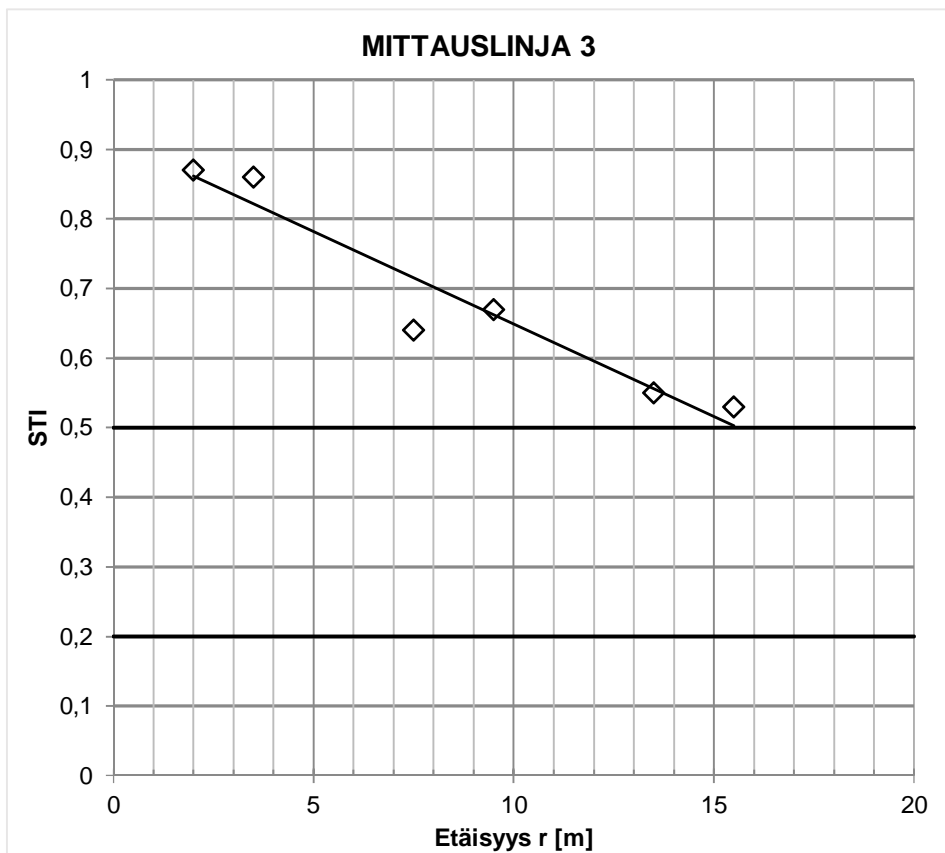
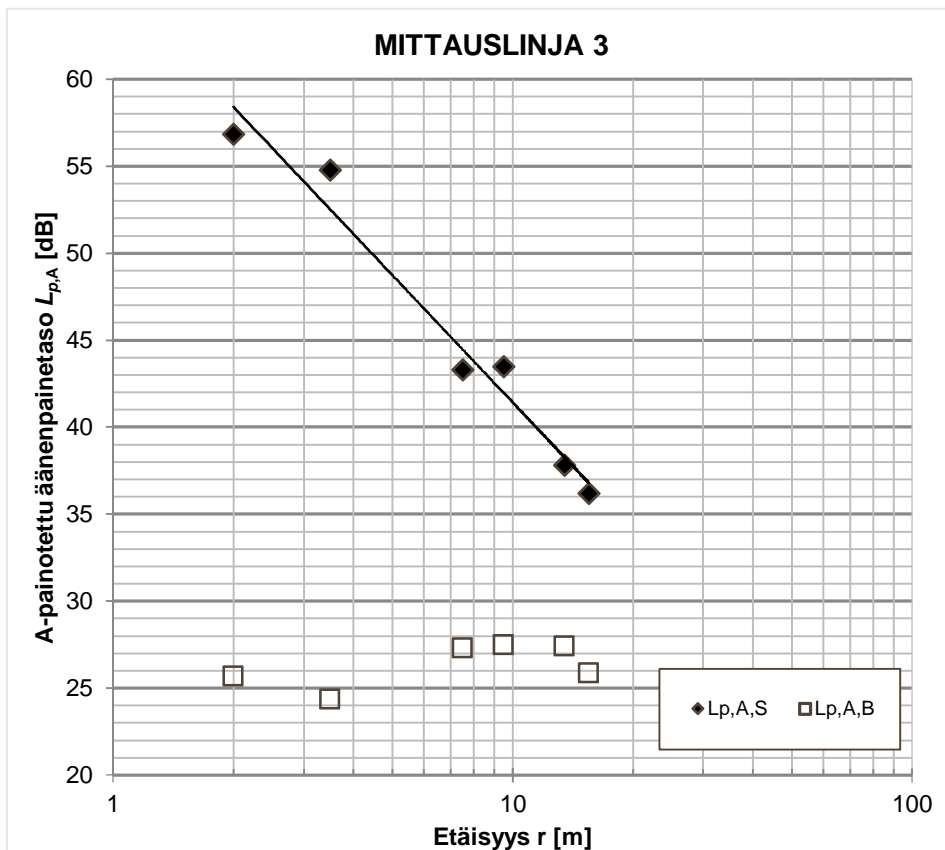
Koulun kolme mittaustulokset



Koulun kolme mittaustulokset



Koulun kolme mittaustulokset



Koulun kolme mittaustulokset

Yksilukuarvot:

Linja 1:

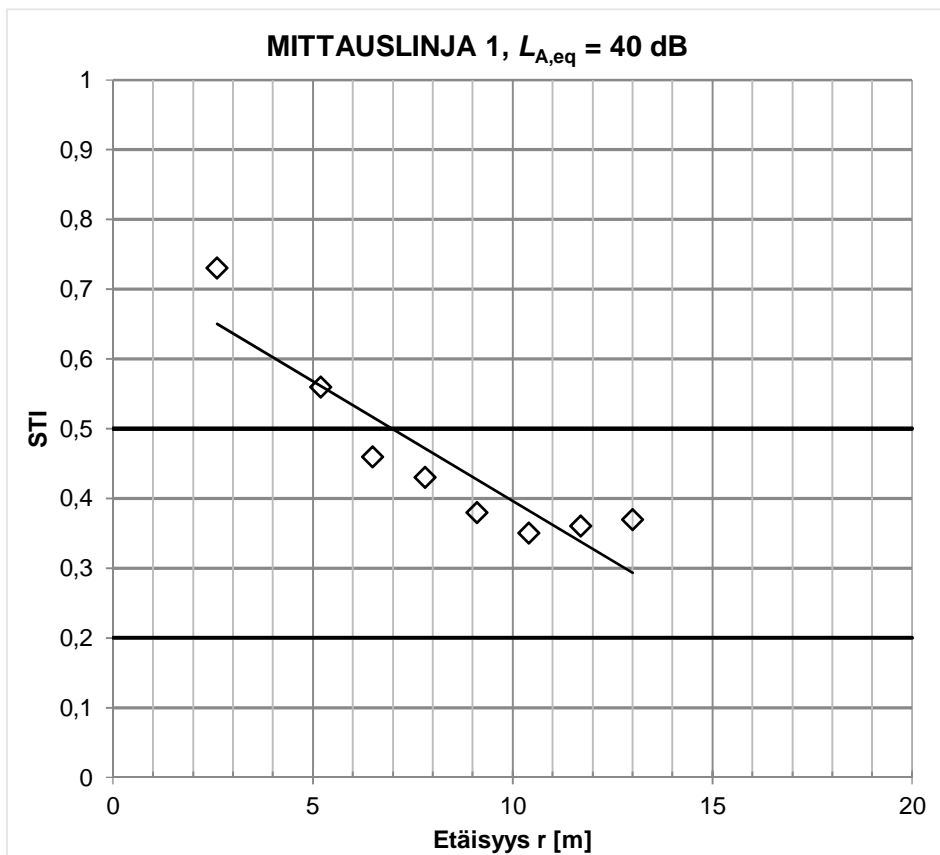
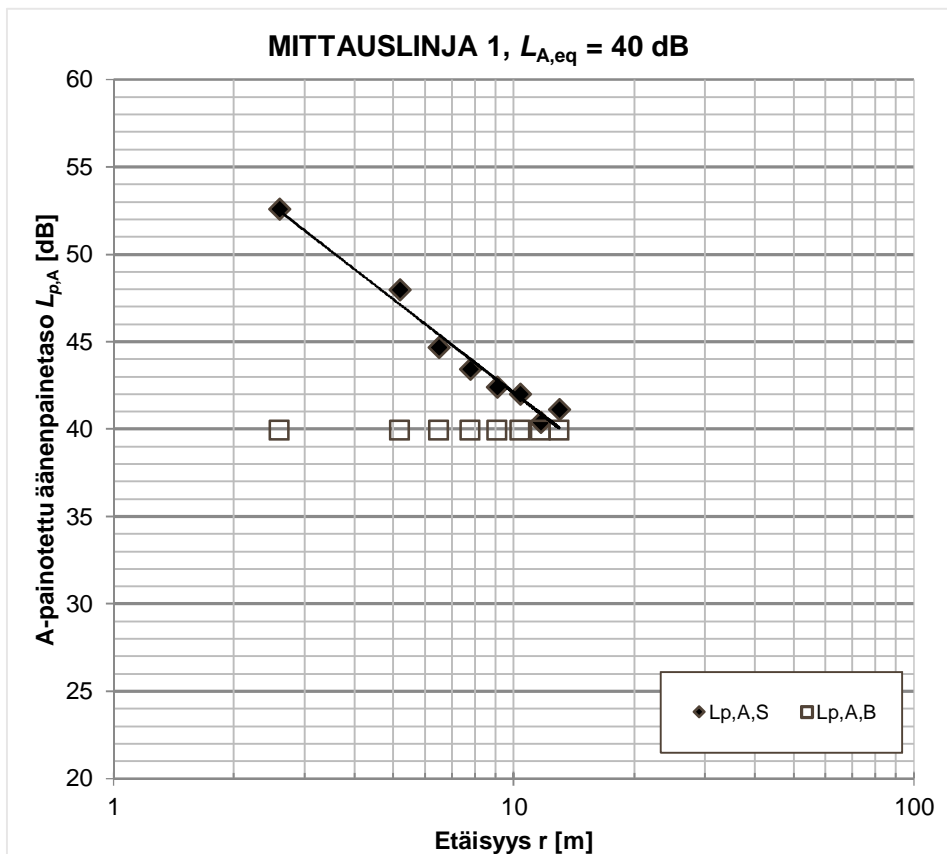
D2,S	5,3	dB
rd	16,5	m
rp	30,4	m

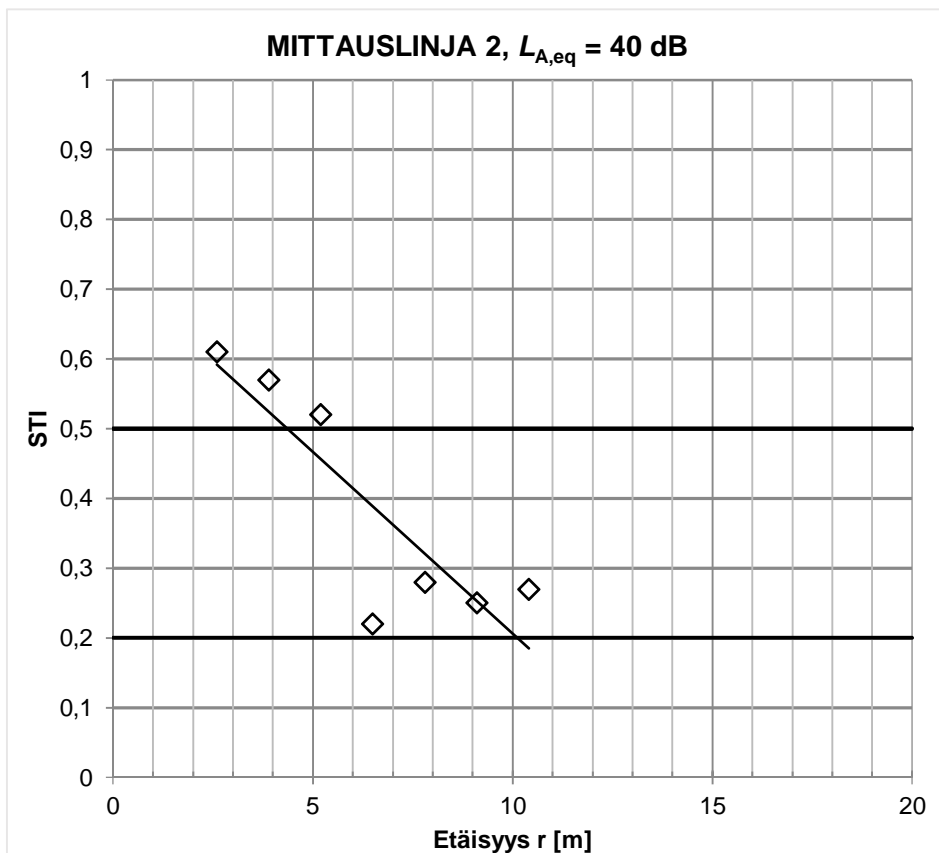
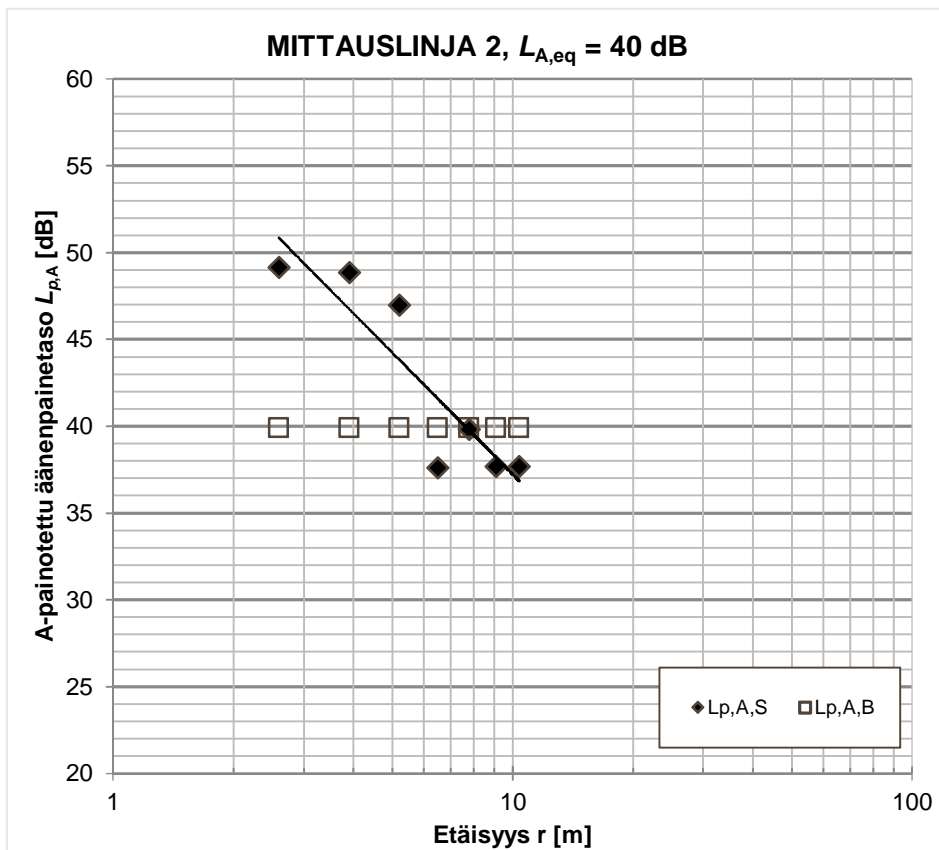
Linja 2:

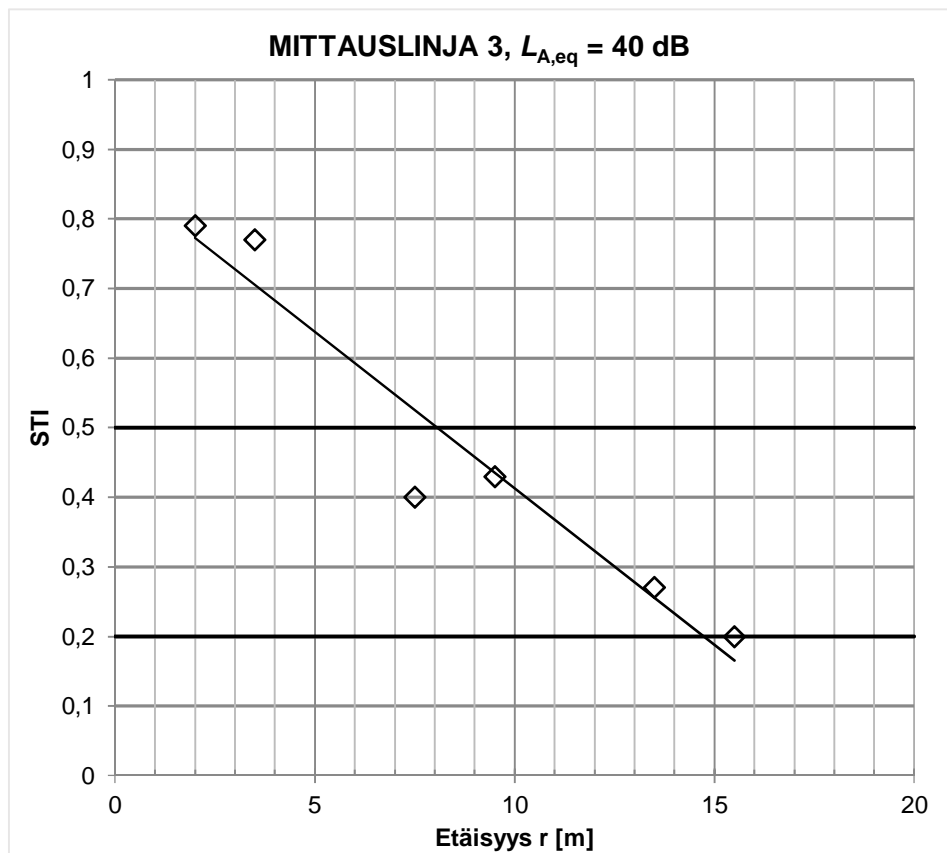
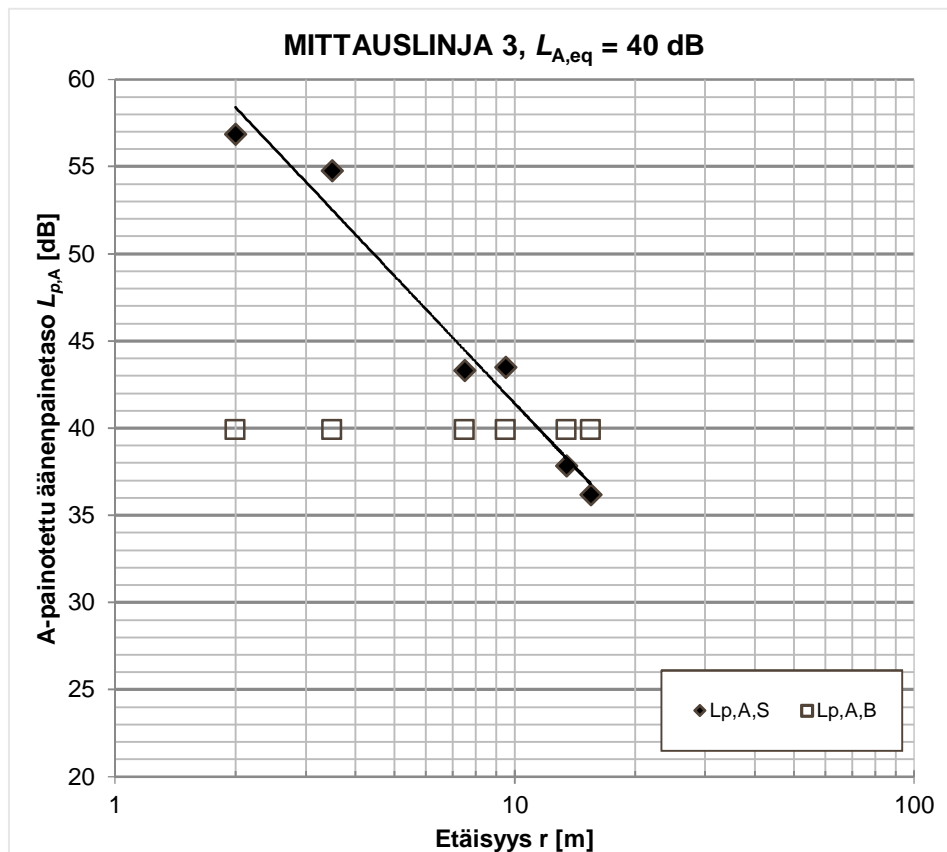
D2,S	7,0	dB
rd	8,9	m
rp	16,5	m

Linja 3:

D2,S	7,3	dB
rd	15,6	m
rp	26,9	m







Yksilukuarvot:

Linja 1:

D2,S	5,3	dB
rd	7,0	m
rp	15,7	m

Linja 2:

D2,S	7,0	dB
rd	4,4	m
rp	10,1	m

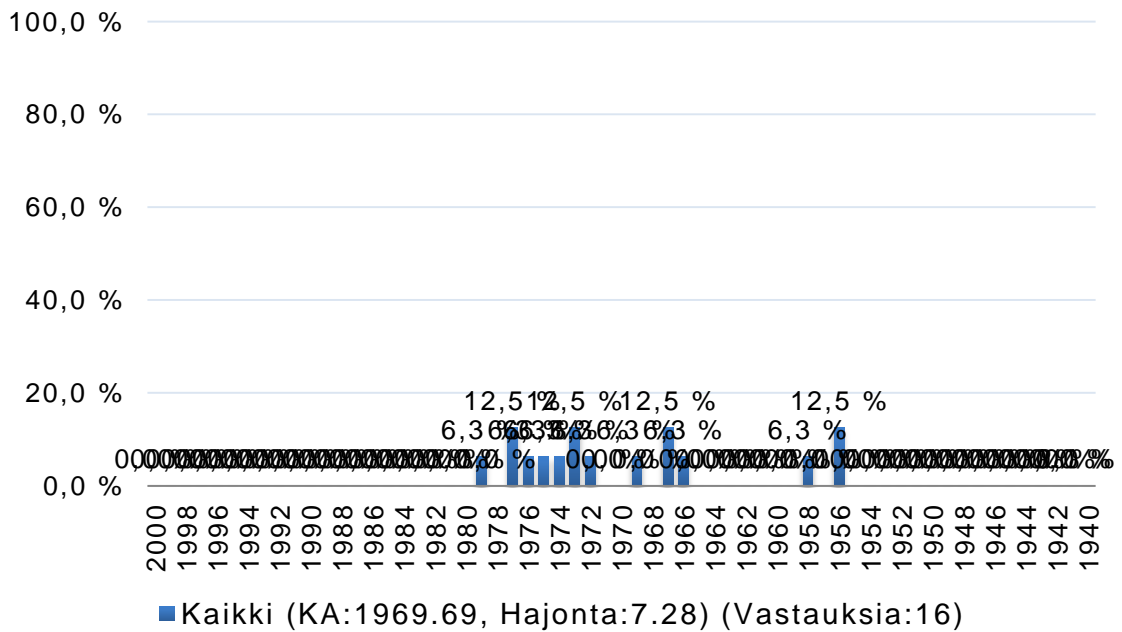
Linja 3:

D2,S	7,3	dB
rd	8,1	m
rp	14,7	m

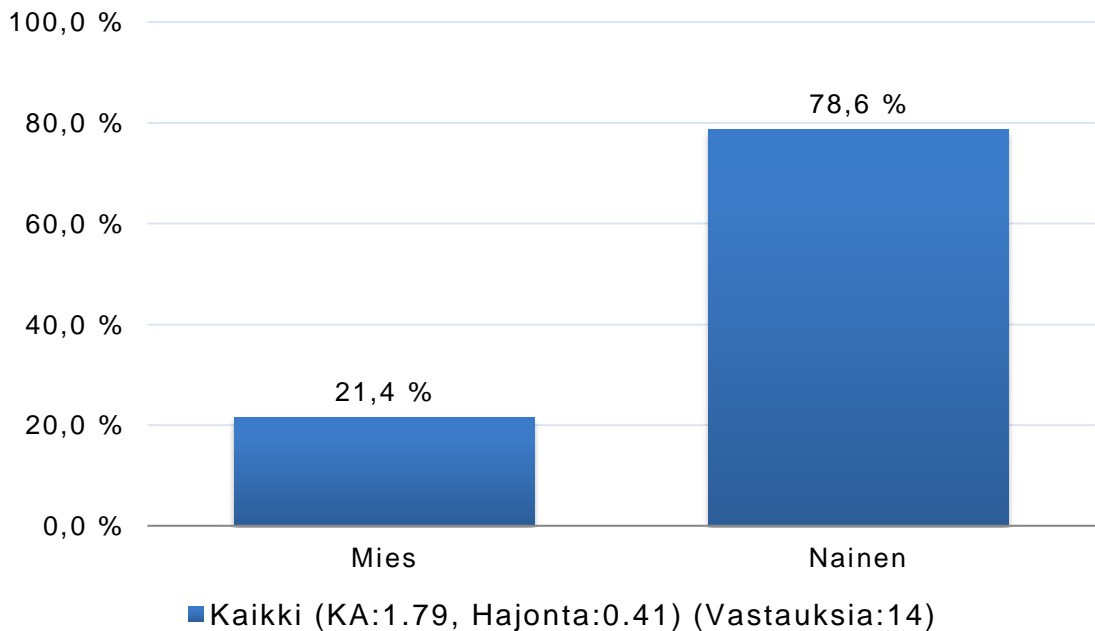
LIITE G: KYSELY JA SEN TULOKSET

TAUSTATIEDOT

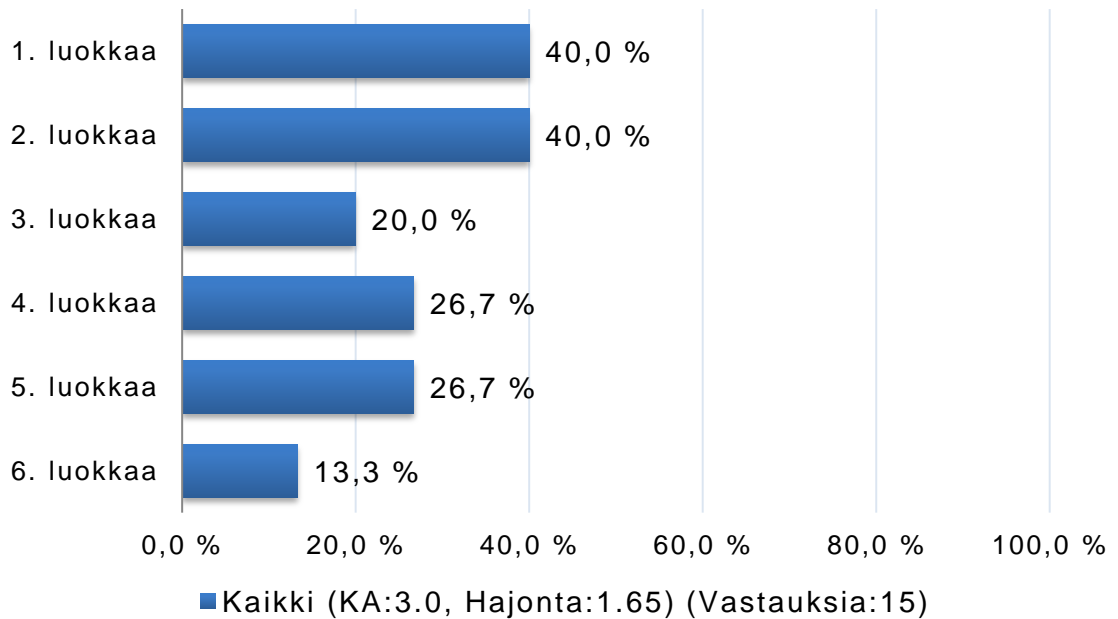
Syntymävuosi



Sukupuoli

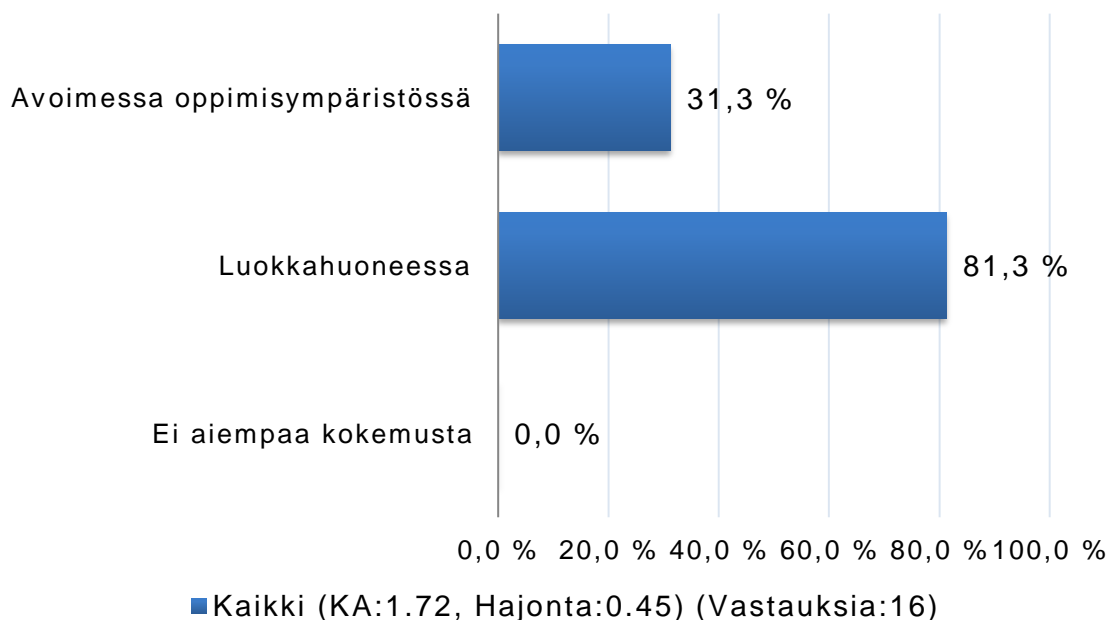


Mitä vuosiluokkaa opetat (voit valita useita vaihtoehtoja)?

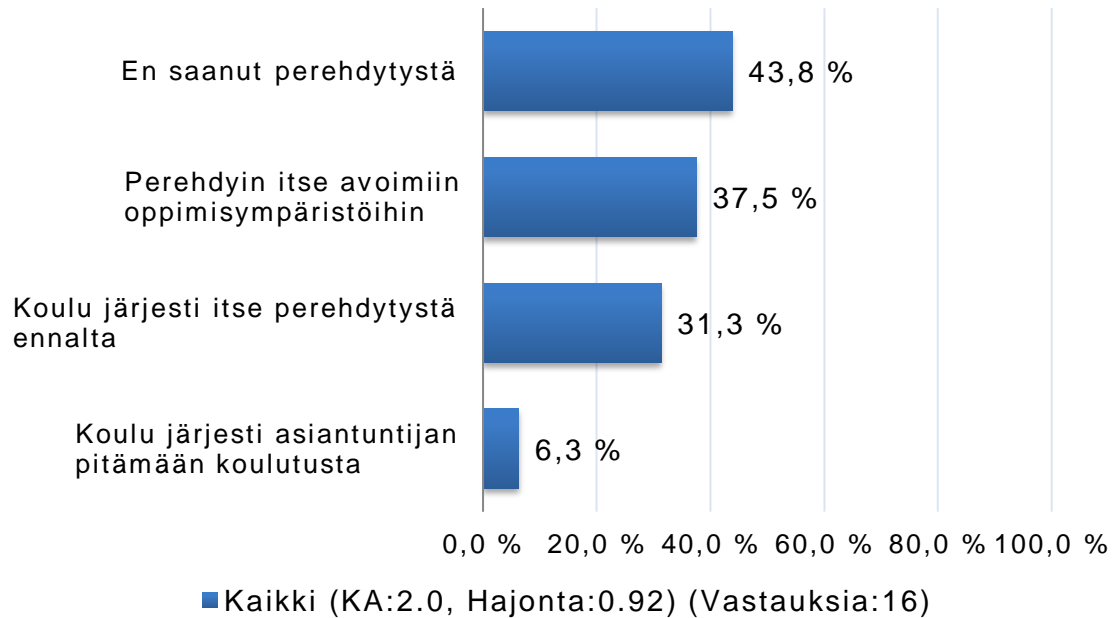


1 SIIRTYMINEN AVOIMEEN OPPIMISYMPÄRISTÖÖN

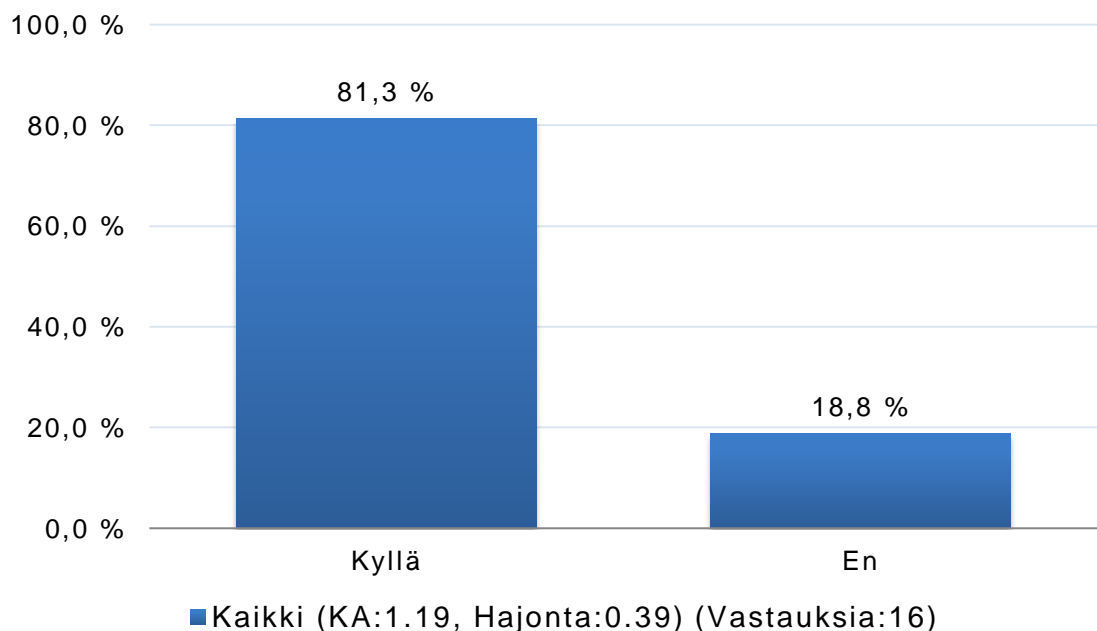
1.1 Millaisissa opetustiloissa olet aiemmin työskennellyt (valitse yksi tai useampi vaihtoehto)?



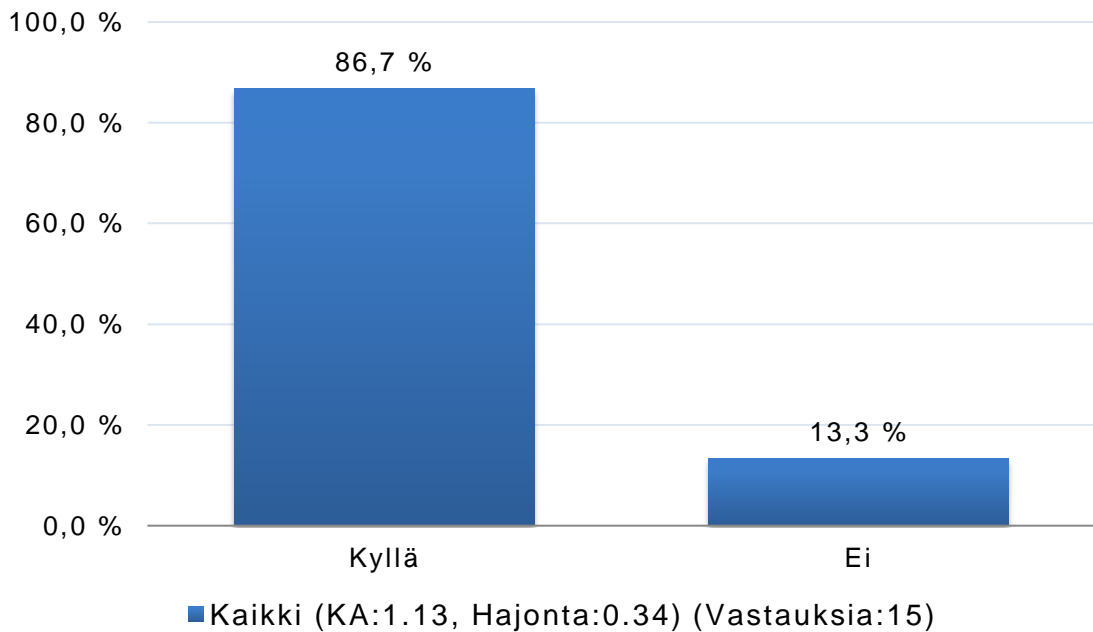
1.2 Millaista perehdytystä sait avoimessa oppimisympäristössä työskentelyyn ennen muuttoa uusiin tiloihin (valitse yksi tai useampi vaihtoehto)?



1.3 Osallistuitko nykyisen työympäristösi suunnitteluun?



1.4 Onko oppimisympäristösi laadittu käyttäytymissäännöt?



1.5 Jos käyttäytymissäännöt ovat olemassa, millaisia asioita ne sisältävät?

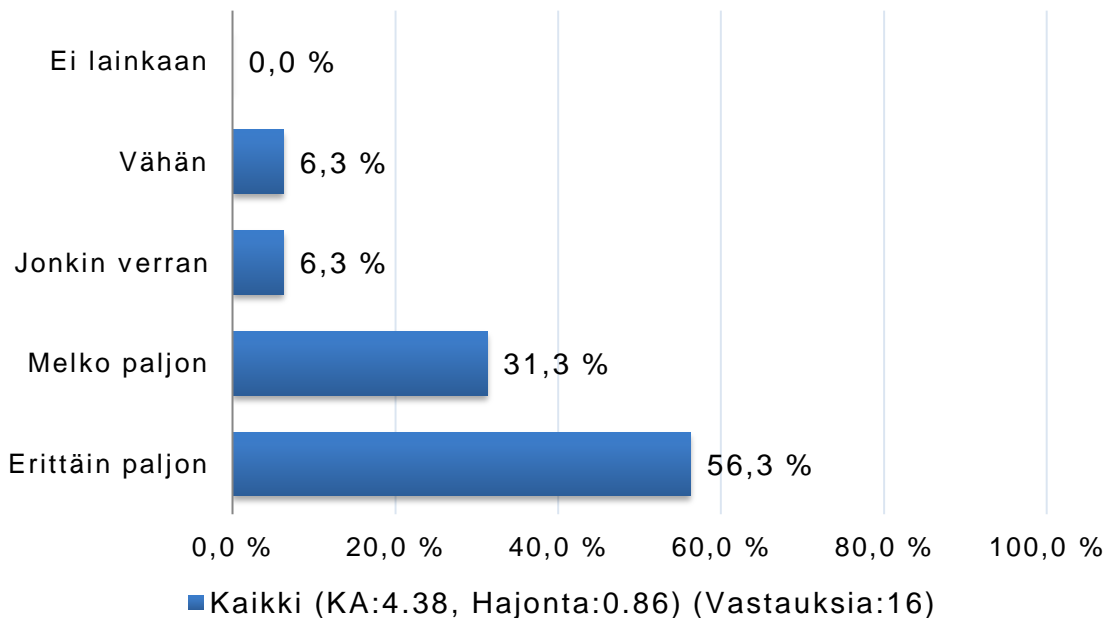
- Kengät jätetään aulaan ja sisätiloissa kuljetaan rauhallisesti. Kädet pestään ruokailussa ennen ruokailua. Muille ollaan ystävällisiä eikä ketään kiusata.
- Ihan arkipäivän asioita, jotta homma toimii. Ainahan opetustiloihin liittyy sääntöjä.
- Toisten huomioonottamista, äänenkäyttöä, liikkumista tilassa
- Toisten huomioonottamista, äänenkäyttöä, liikkumista tilassa
- Ei voi juosta, huutaa tai painia sisällä. Otamme toiset huomioon äänenkäytössä.
- Tiloissa liikkumiseen, töiden tekemiseen, toisten ja toisten työn arvostamiseen liittyviä asioita.
- Tilat on jaettu erilaisten toimintojen mukaan. Jossain tilassa ollaan ihan hiljaa, jossain pelataan jne.
- Liikun kävellen, odotan omaa vuoroa, kuuntelen toisia, käytän maalaisjärkeä
- Esimerkiksi: Liikun kävellen. Annan työrauhan. Autan toisia. Tehdään yhdessä.
- Kuljen kävellen, annan työrauhan, otan toiset huomioon, käytän maalaisjärkeä
- Liittyvät mm. Äänenkäyttöön, siirtymisiin, hyviin tapoihin

- Kuinka kuljen tiloissa, miten kalusteiden kanssa toimitaan jne.
- Opetus alkaa luokan omalta kodalta, missä paikoissa saa tehdä itsenäistä työskentelyä, työrauha täytyy antaa, minkä verran kalusteita saa siirrellä, juokseminen ja kalusteilla hyppiminen kielletty.
- eri tilojen toimintasääntöjä

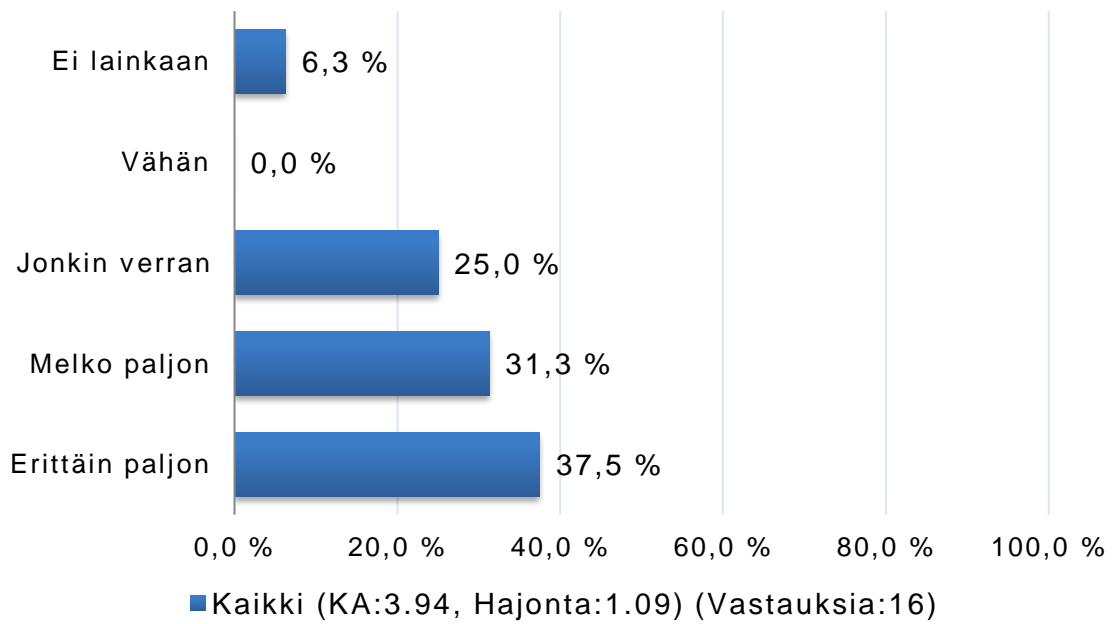
2 AVOIN OPPIMISYMPÄRISTÖ OPETUSTYÖN KANNALTA

2.1 Nykyisessä oppimisympäristössä koulutyötä edistää sinun kannaltasi:

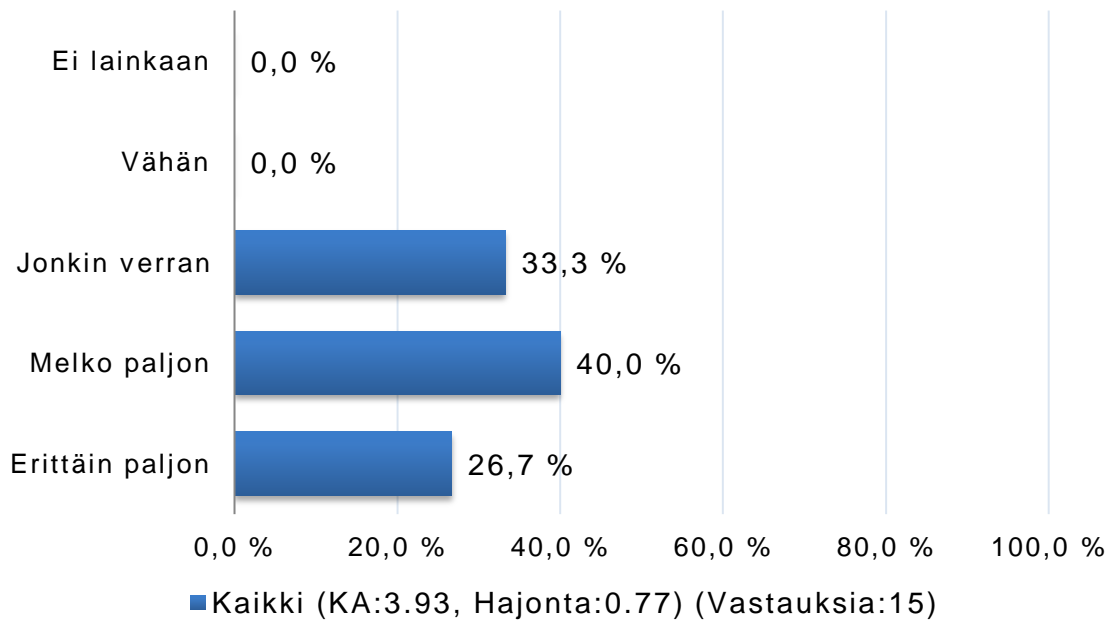
Yhteistyö muiden opettajien kanssa



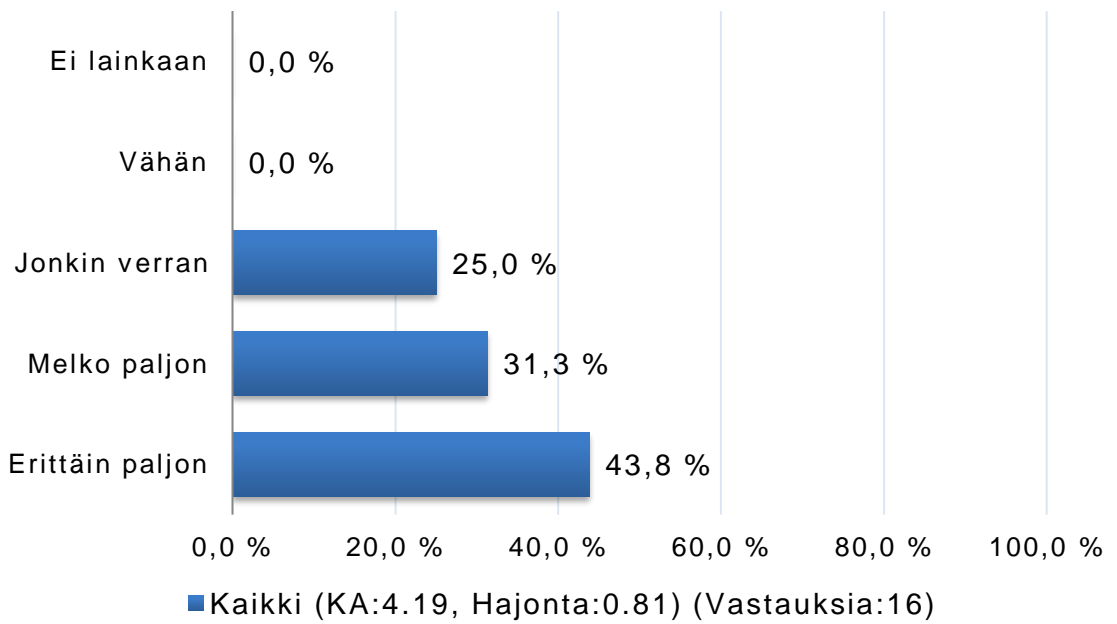
Oppilaiden jakaminen ryhmiin



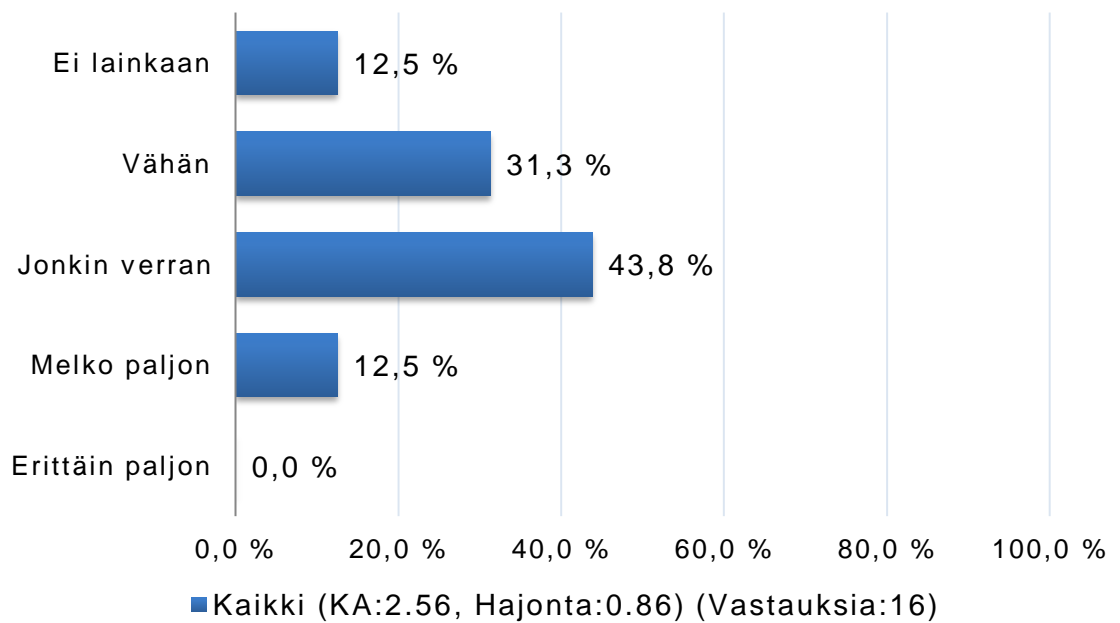
Työrauha



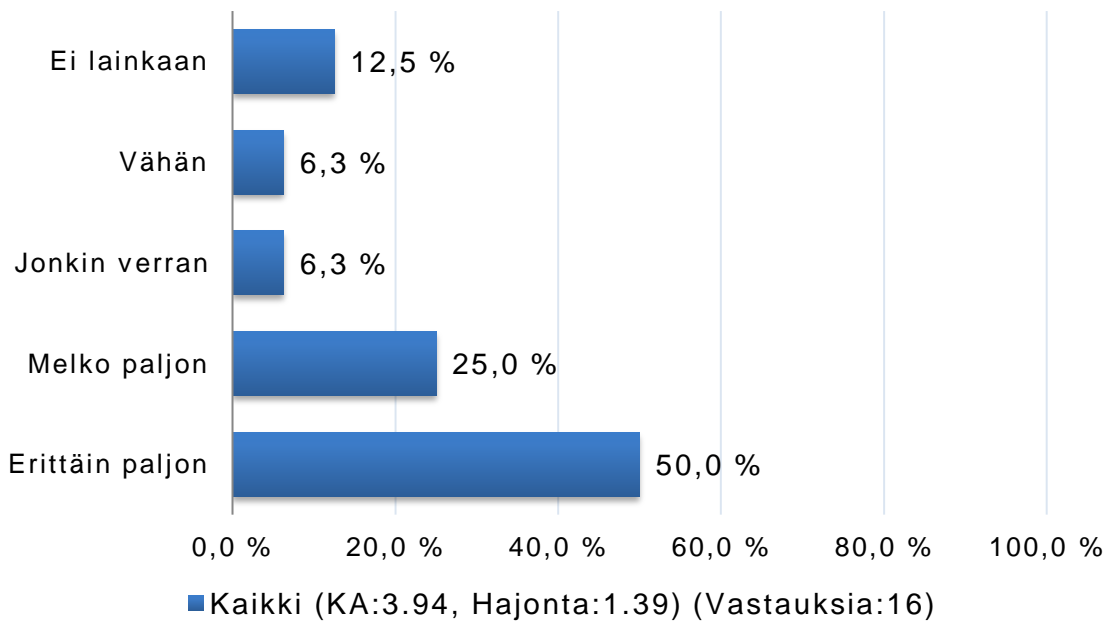
Oppilaskeskeinen opetus



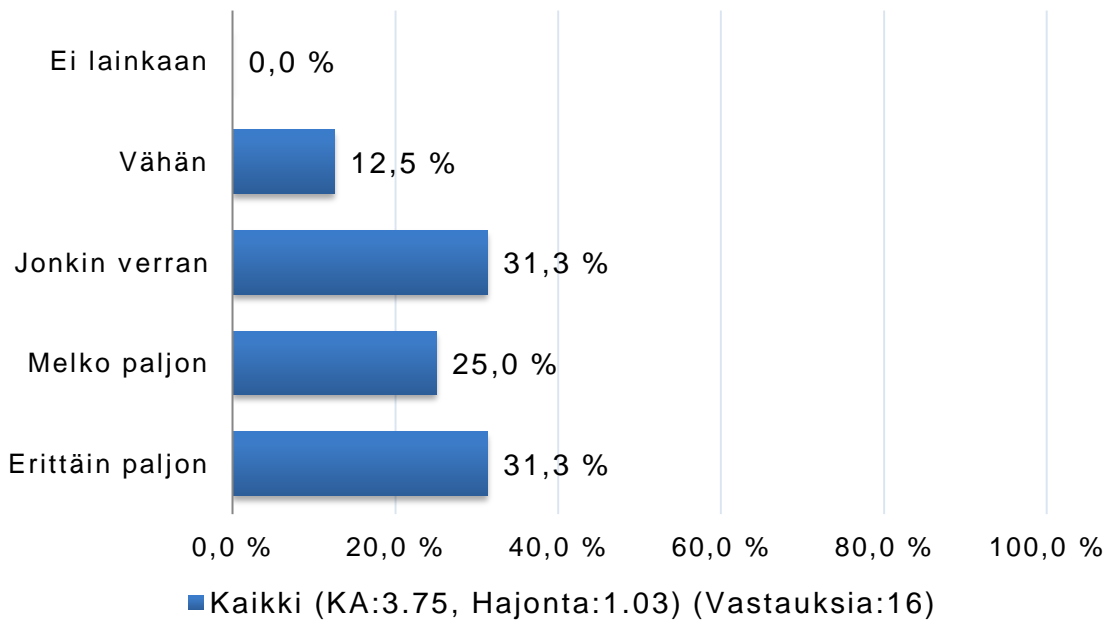
Frontaaliopetus



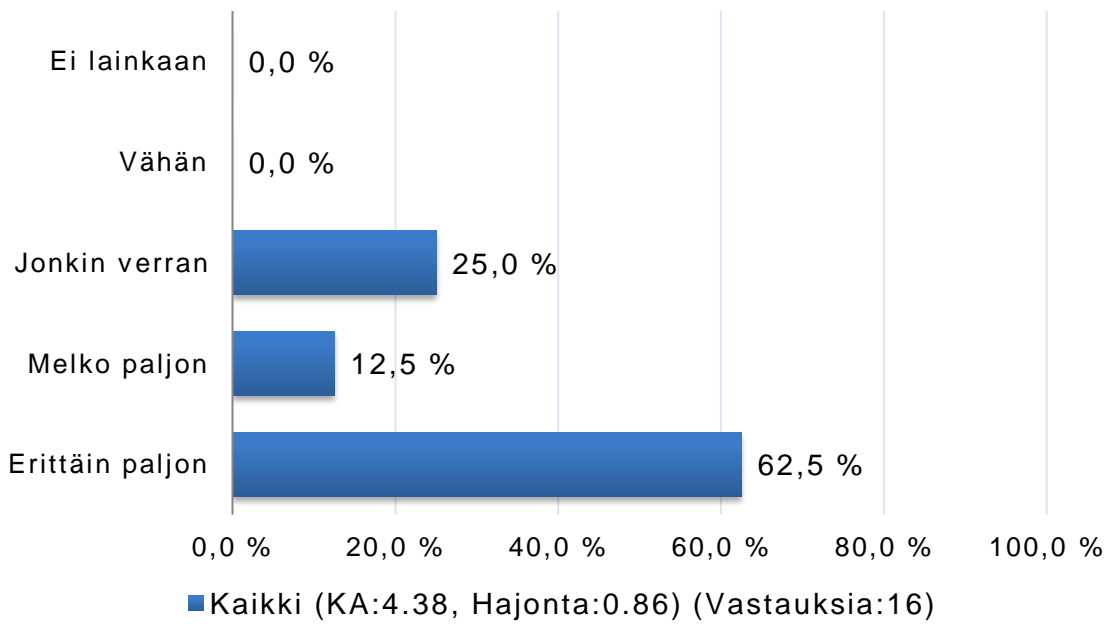
Mahdollisuus antaa merkityksellisiä ja monimuotoisia tehtäviä



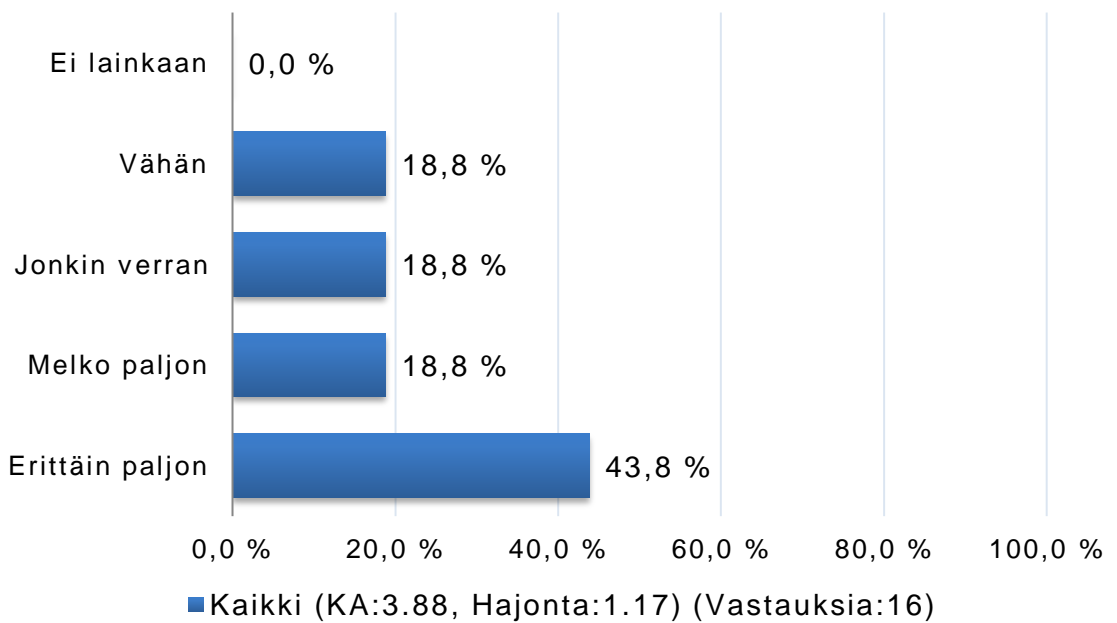
Mahdollisuus oppilaiden valvomiseen



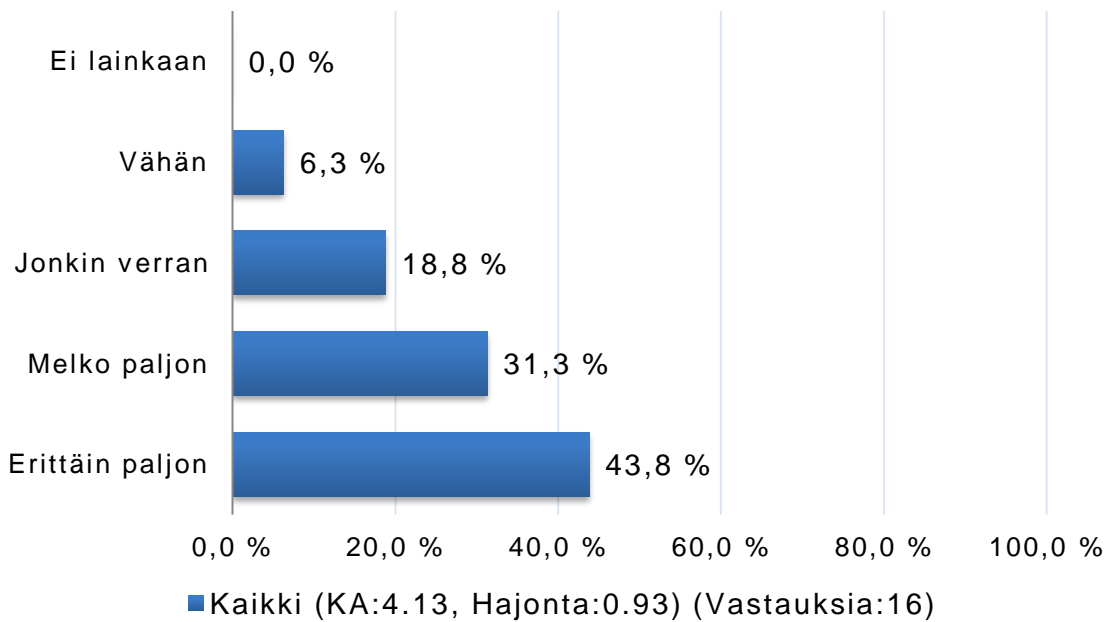
Mahdollisuus käyttää tilaa vapaasti



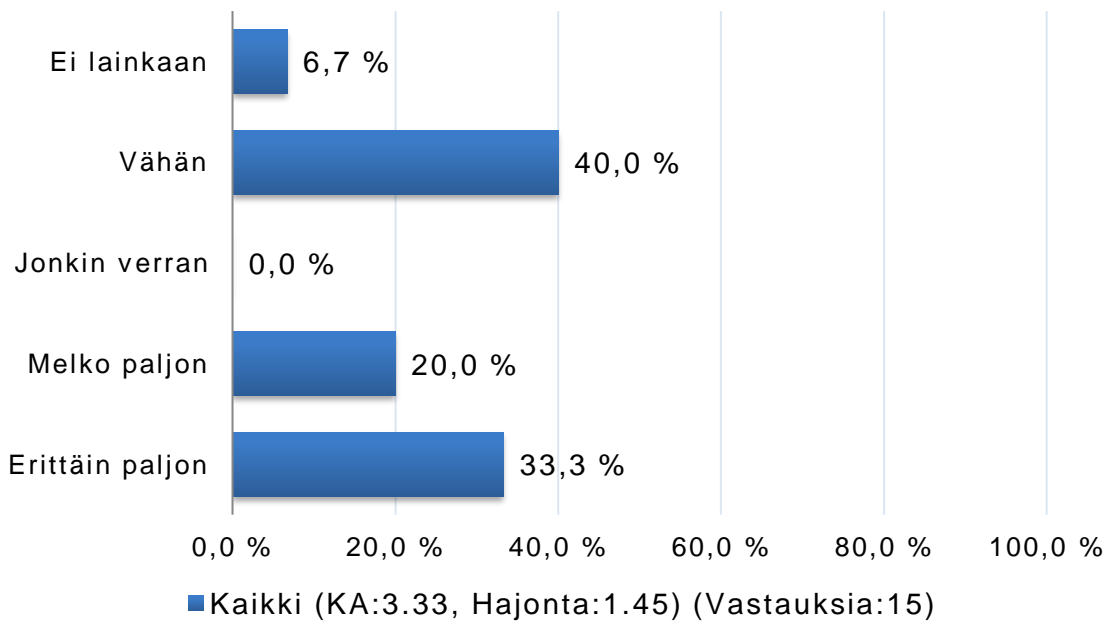
Kalustuksen tarkoituksenmukaisuus



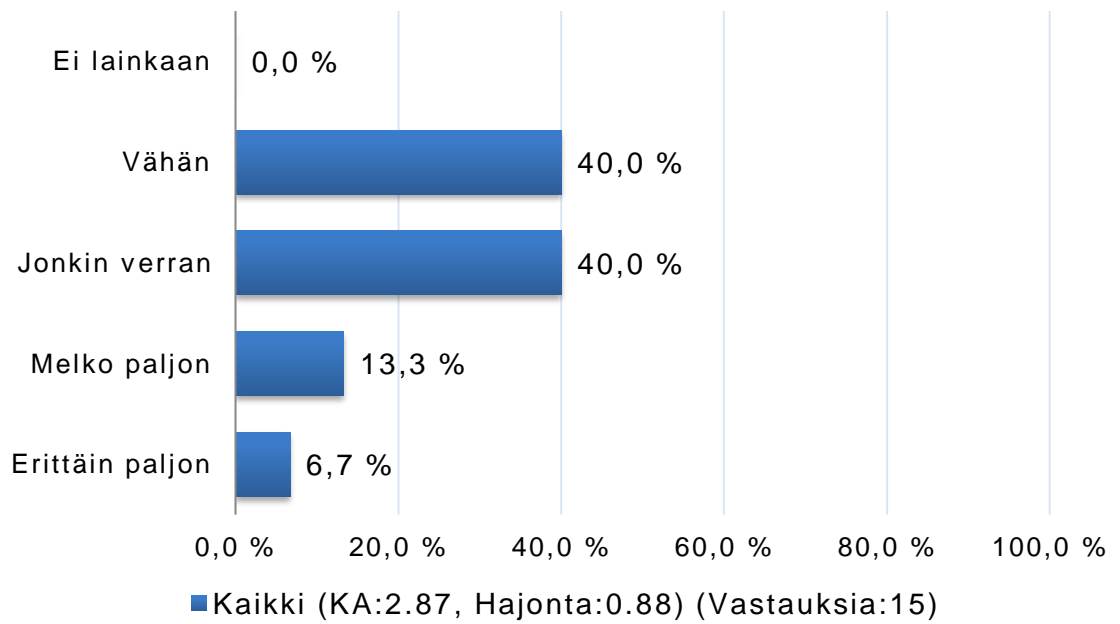
Kalustuksen muunneltavuus



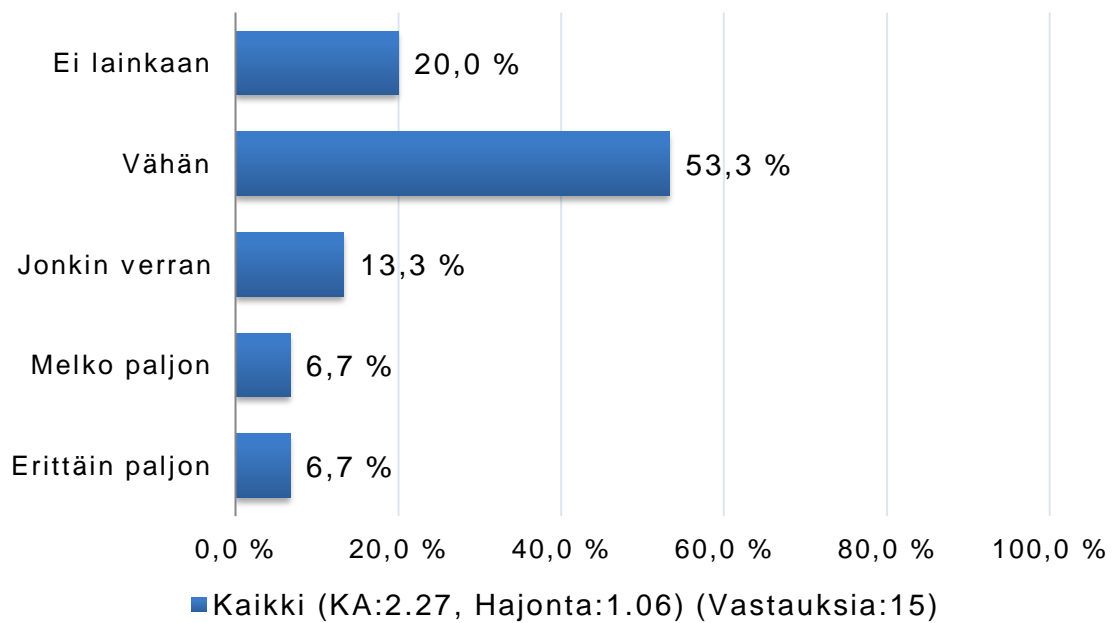
Oppimisympäristön muunneltavuus tilanjakajilla (verhot, seinäkkeet, siirtoseinät)



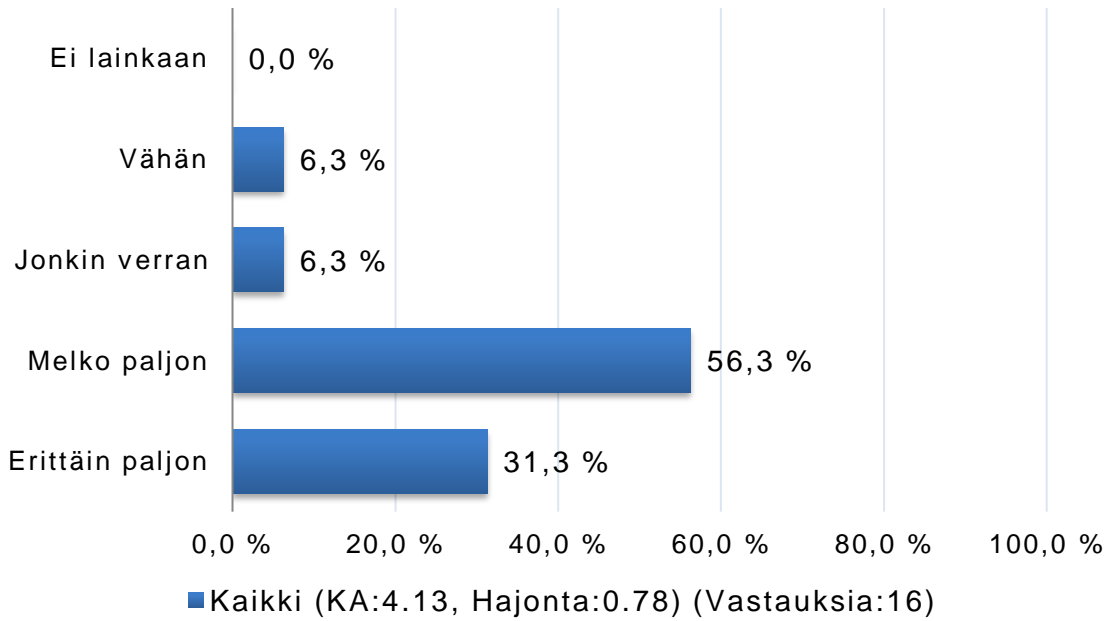
Perinteiset opetuksen apuvälineet



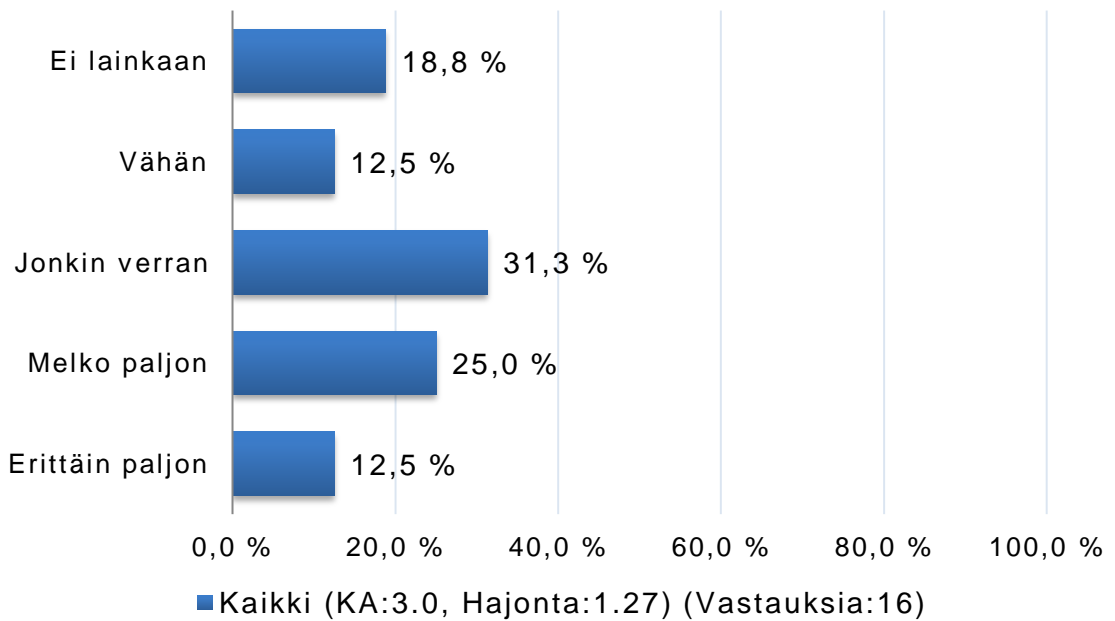
Älypuhelinien käyttö



Tietotekniikka ja sen sovellukset opetuksen apuvälineenä

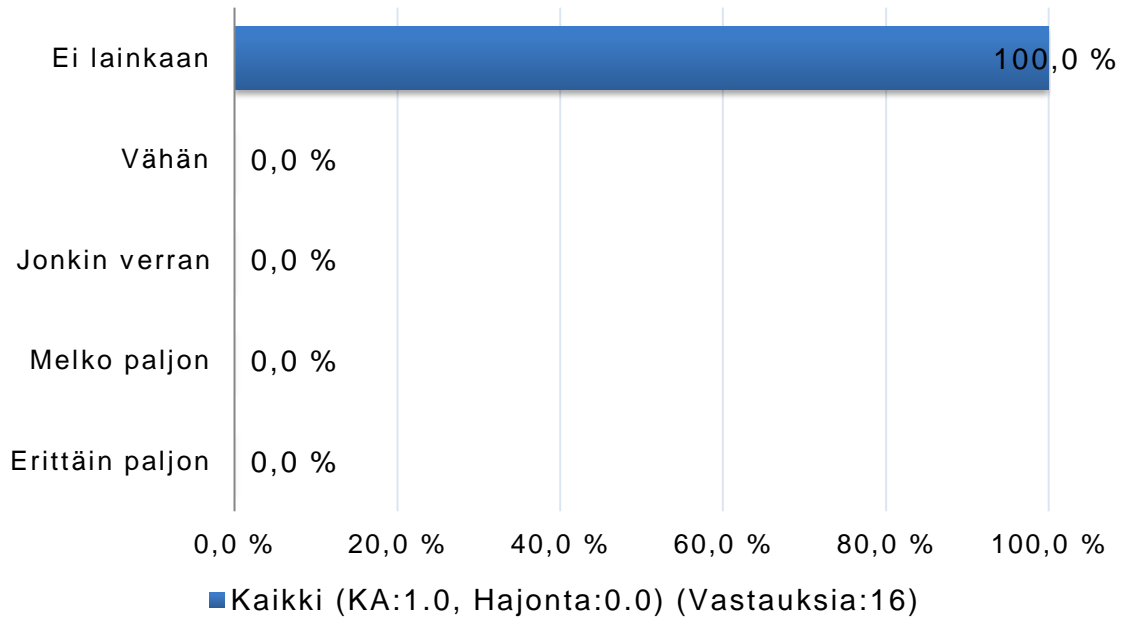


Sähköinen avoin oppimisympäristö (esim. intranet, portaali)

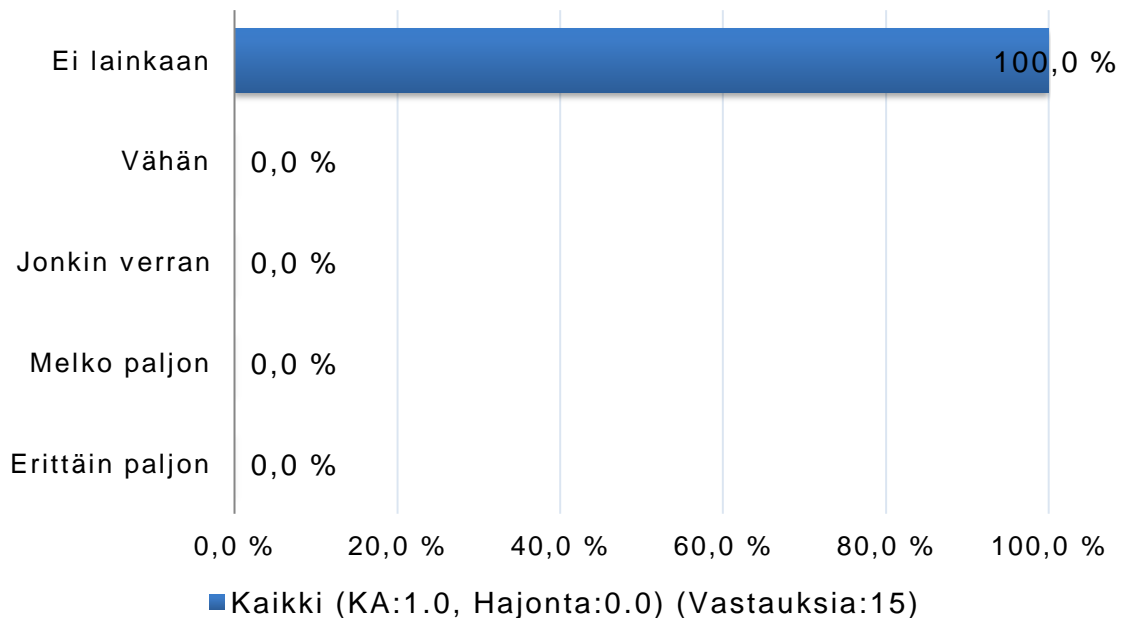


2.2 Oppimisympäristössä koulutyötä vaikeuttaa sinun kannaltasi:

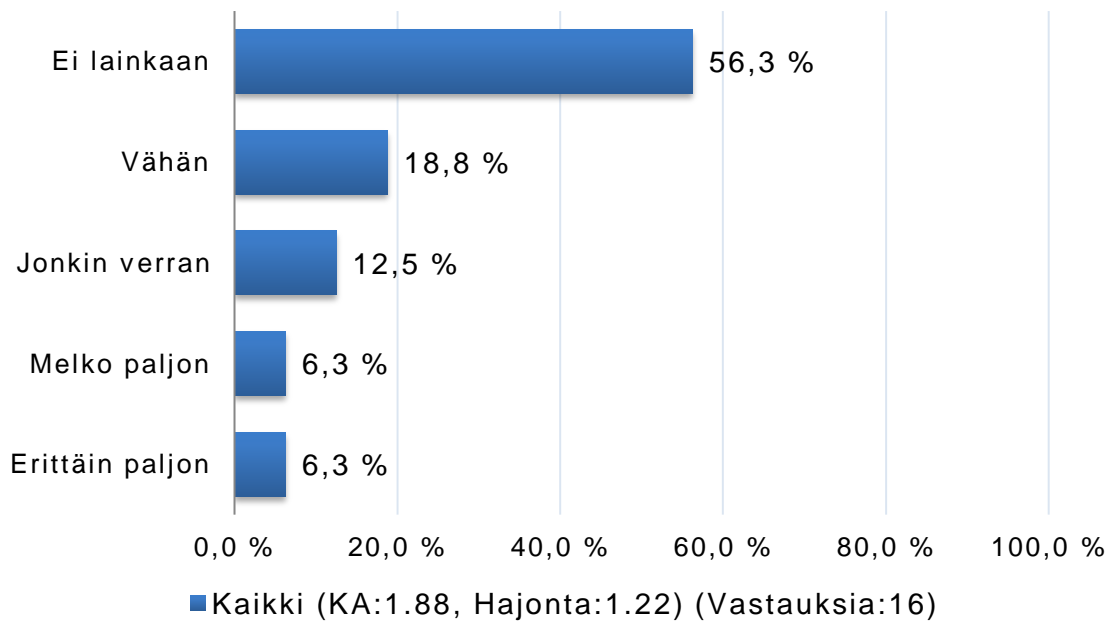
Ulkoa kuuluva liikennemelu



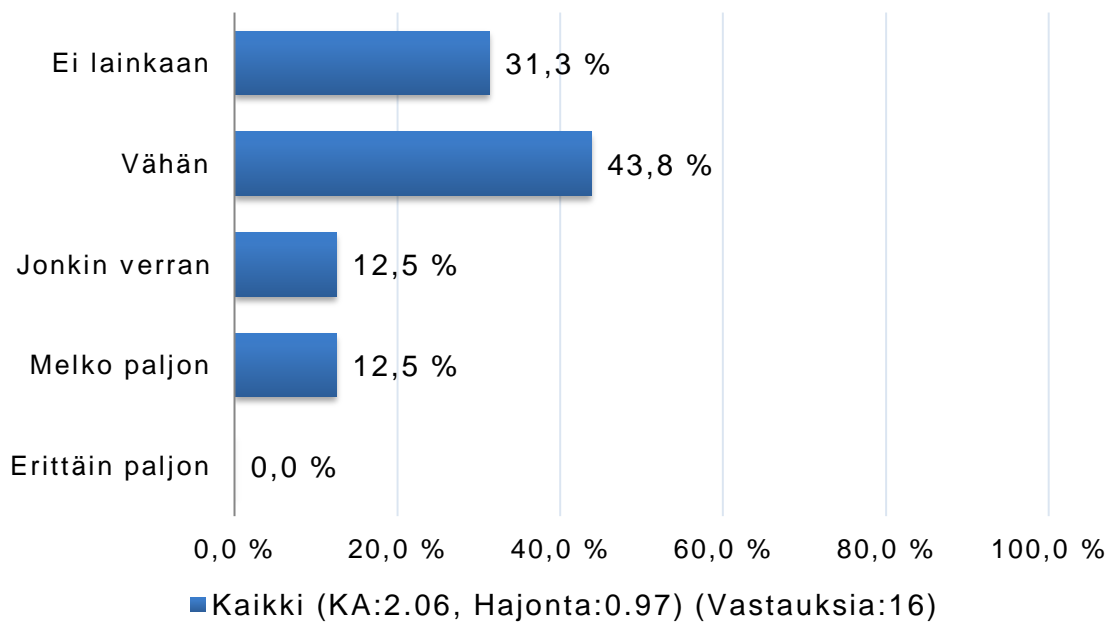
Ulkoa kuuluva muu melu



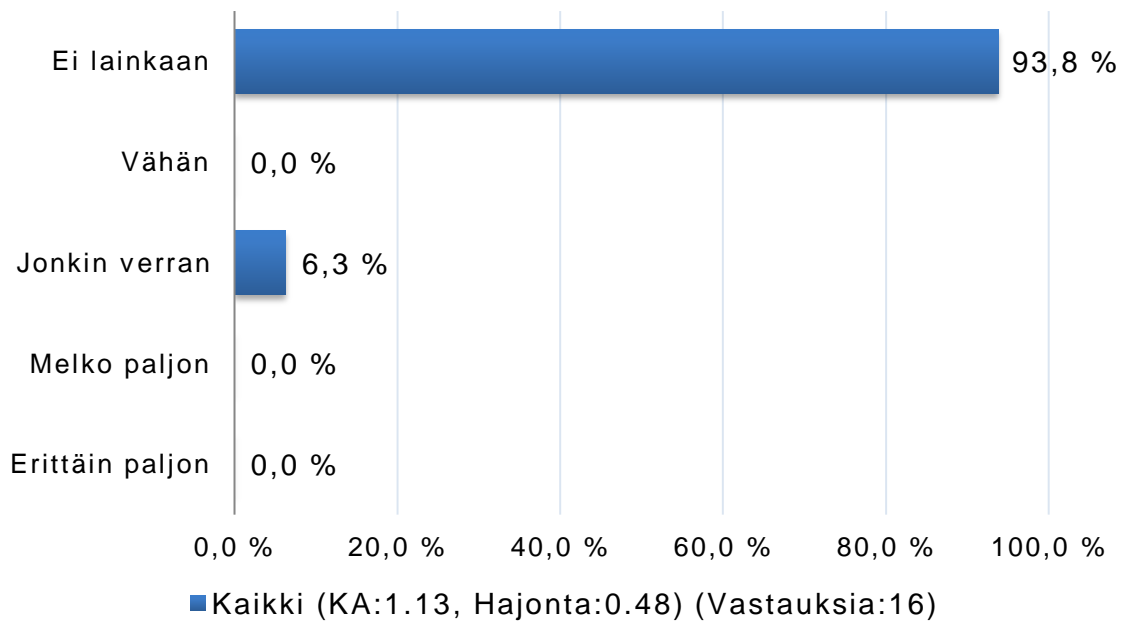
Tilan kaiuntaisuus



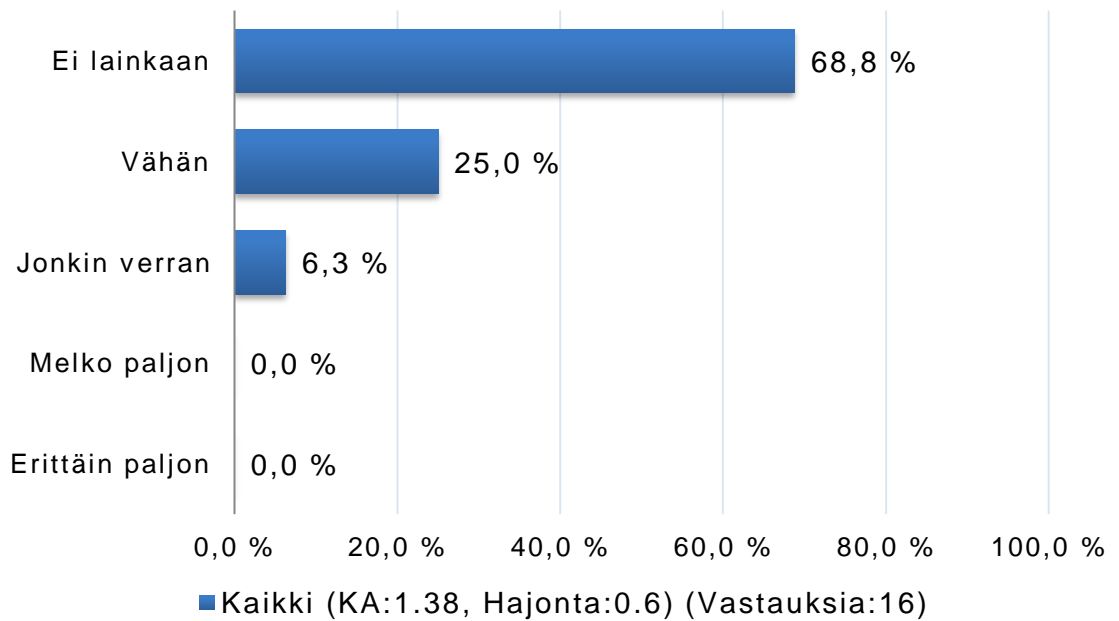
Käytäviltä kuuluvat äänet



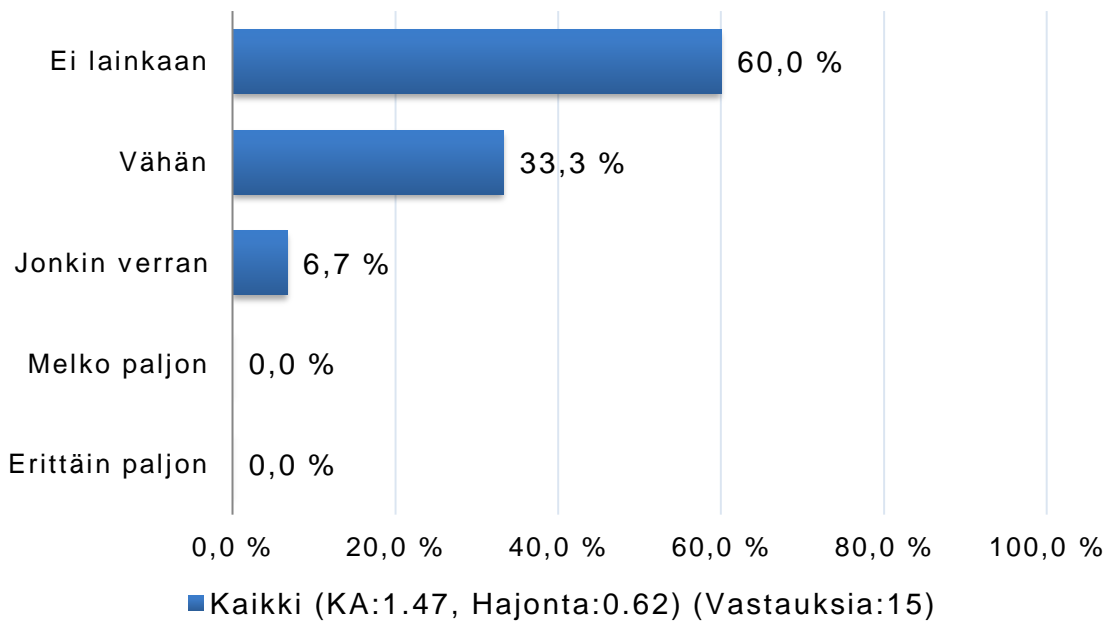
Ruokalasta kuuluvat äänet



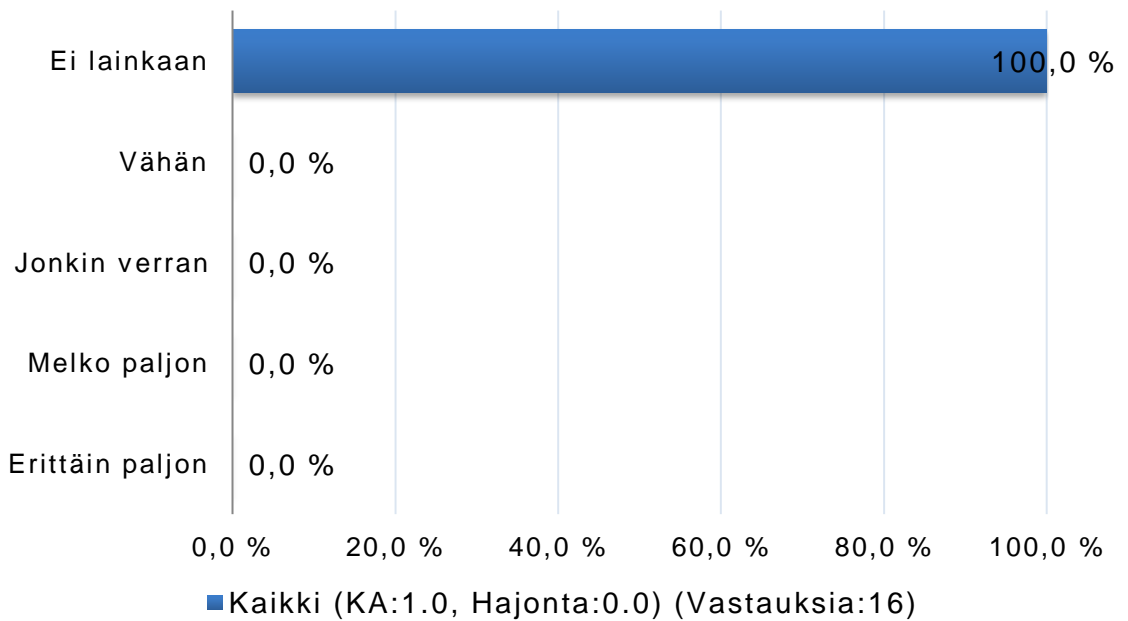
Viereisistä oppimisympäristöistä kuuluvat äänet



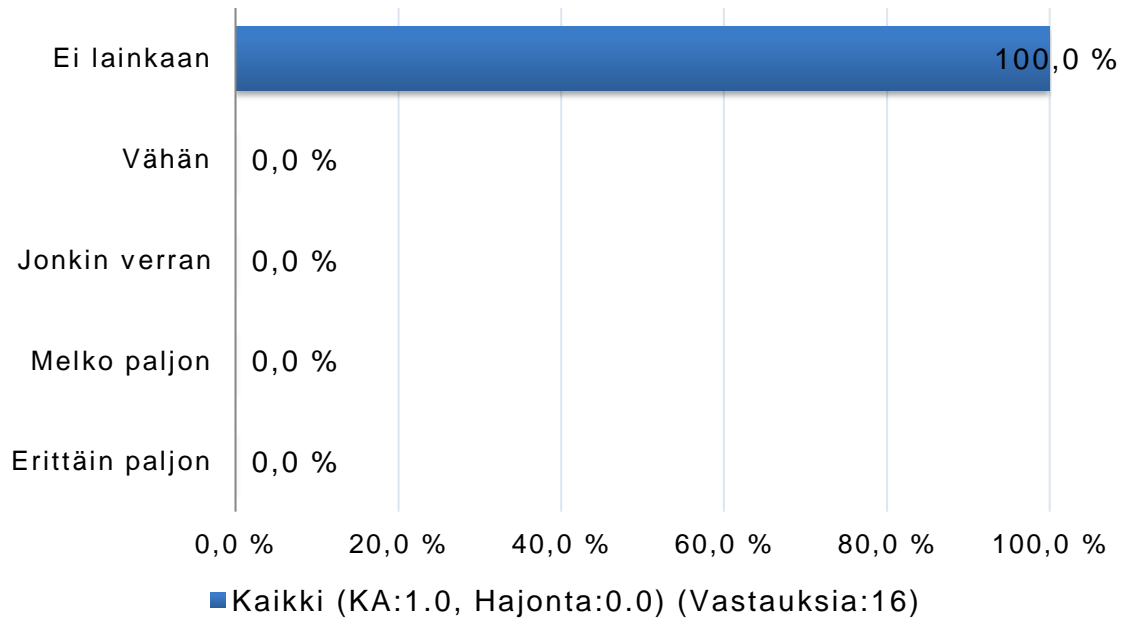
Ilmastoinnin tuottama melu



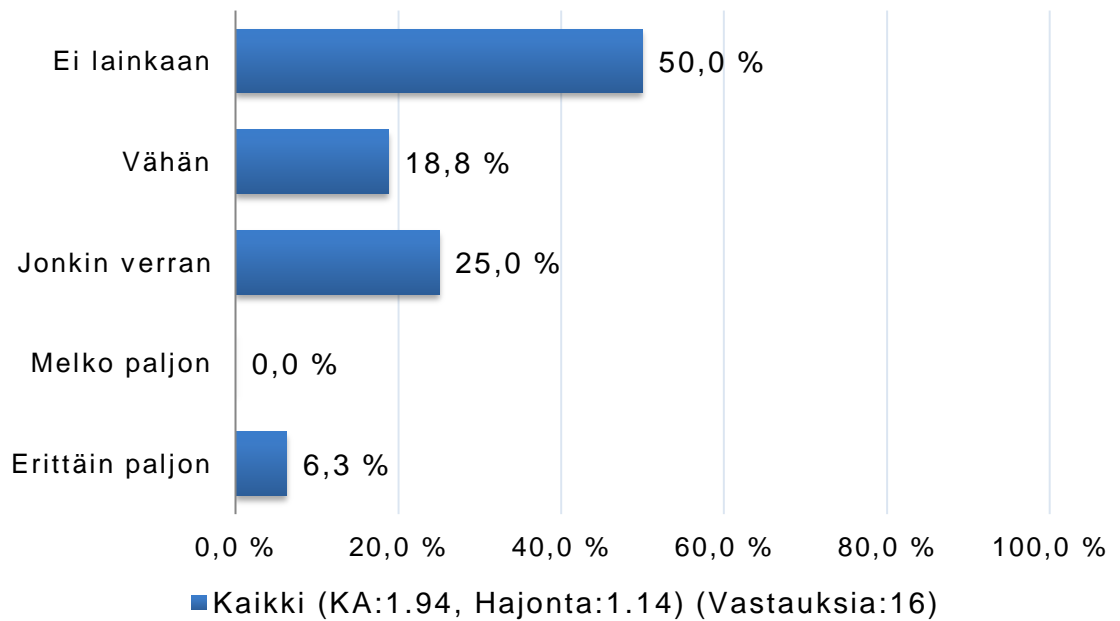
Kopiokoneiden ja tulostinten äänet



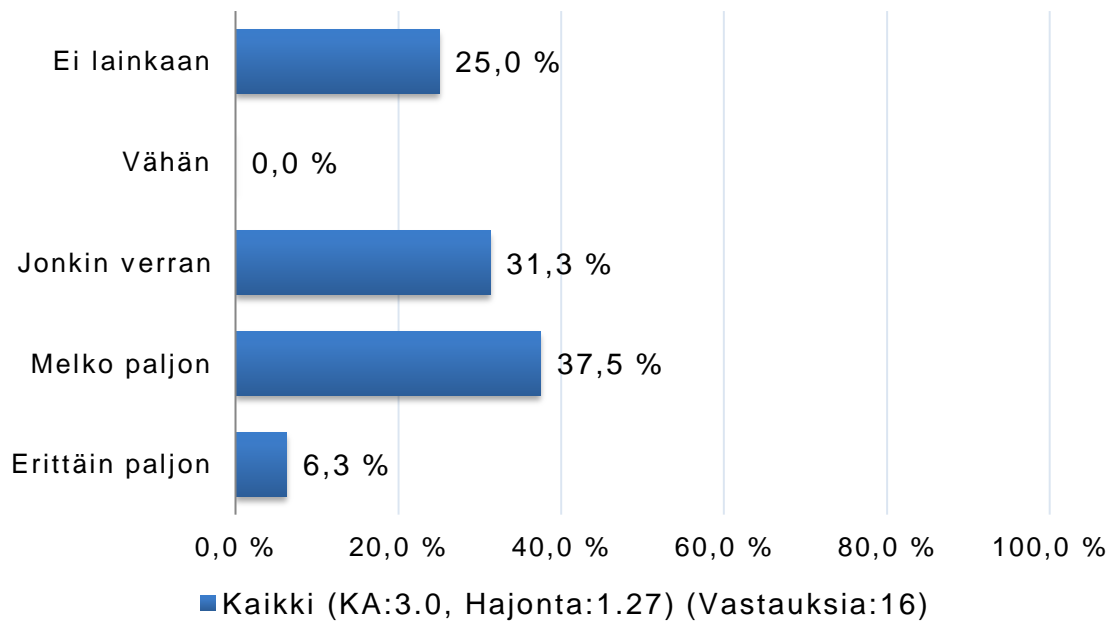
Matka- ja älypuhelinien käyttö ja äänet



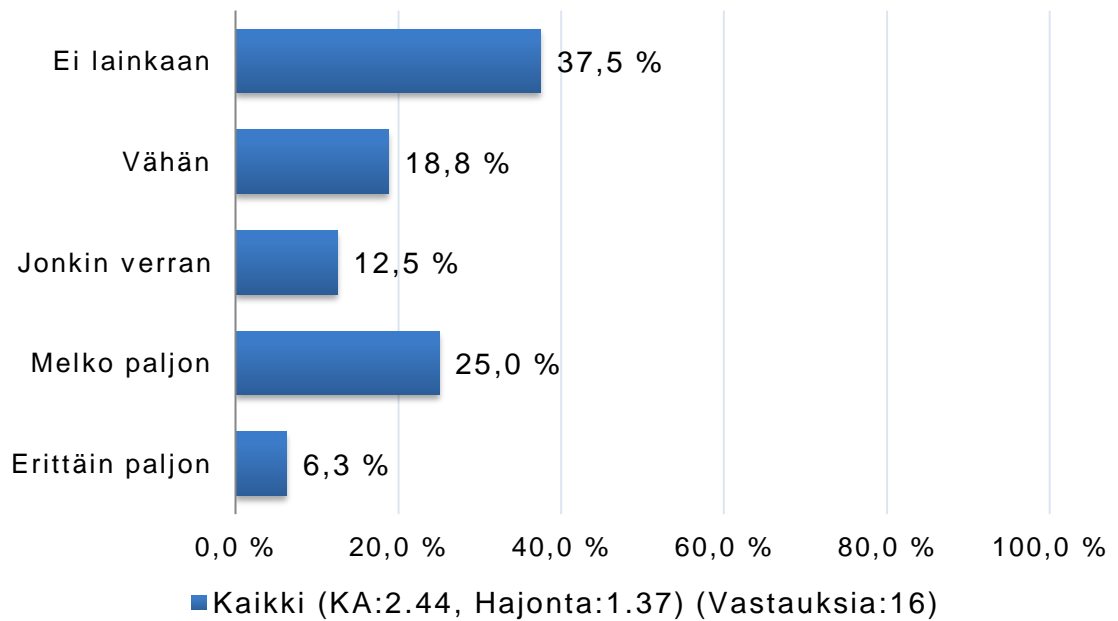
Tuolien ja muiden irtokalusteiden kolinat ja muut äänet



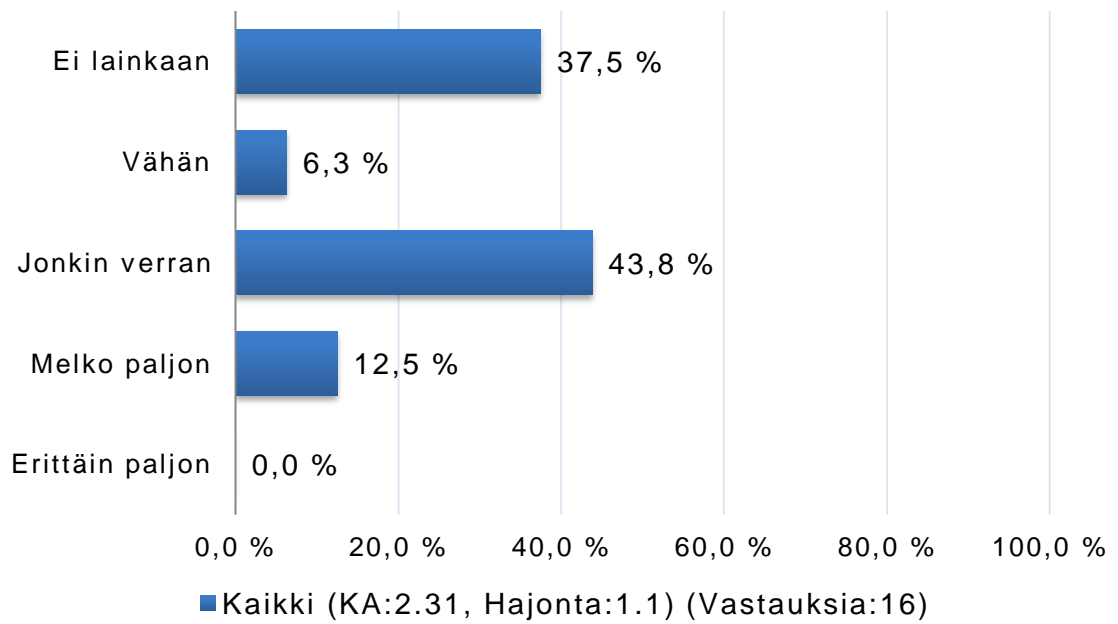
Oppilaiden lukumäärä avoimessa oppimisympäristössä



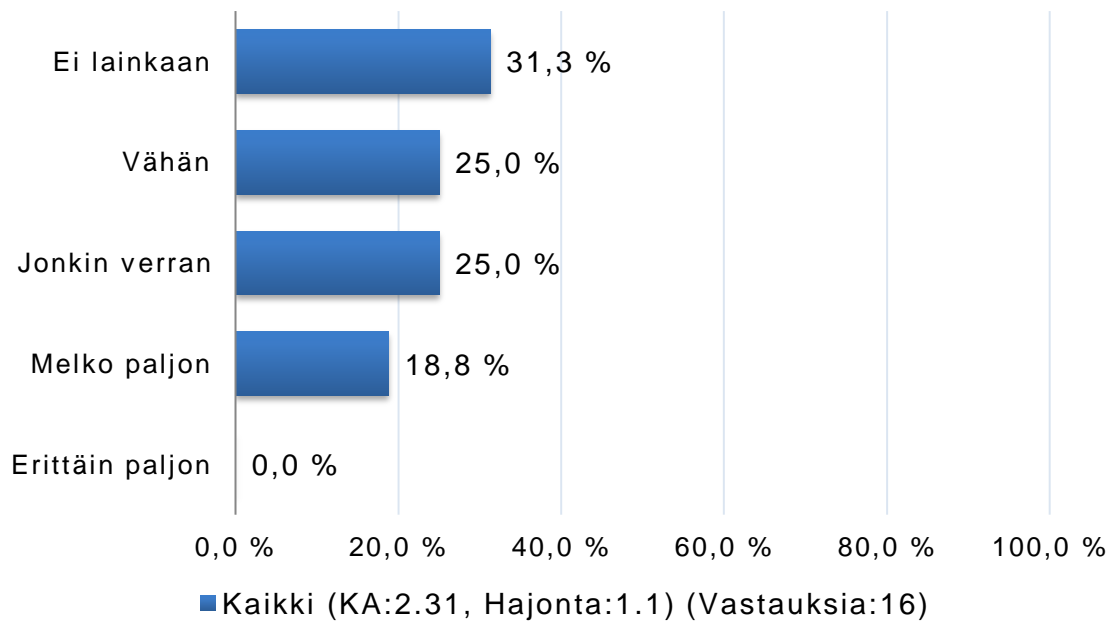
Toisten opettajien puhe, kun itse puhun



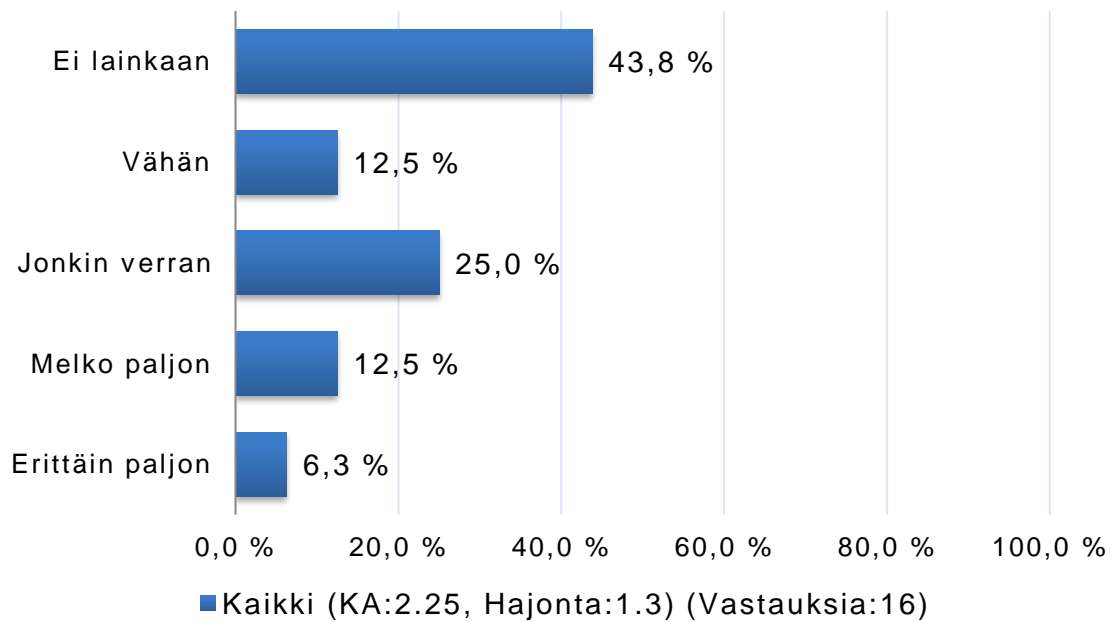
Muiden opetusryhmien oppilaiden puhe, kun itse puhun



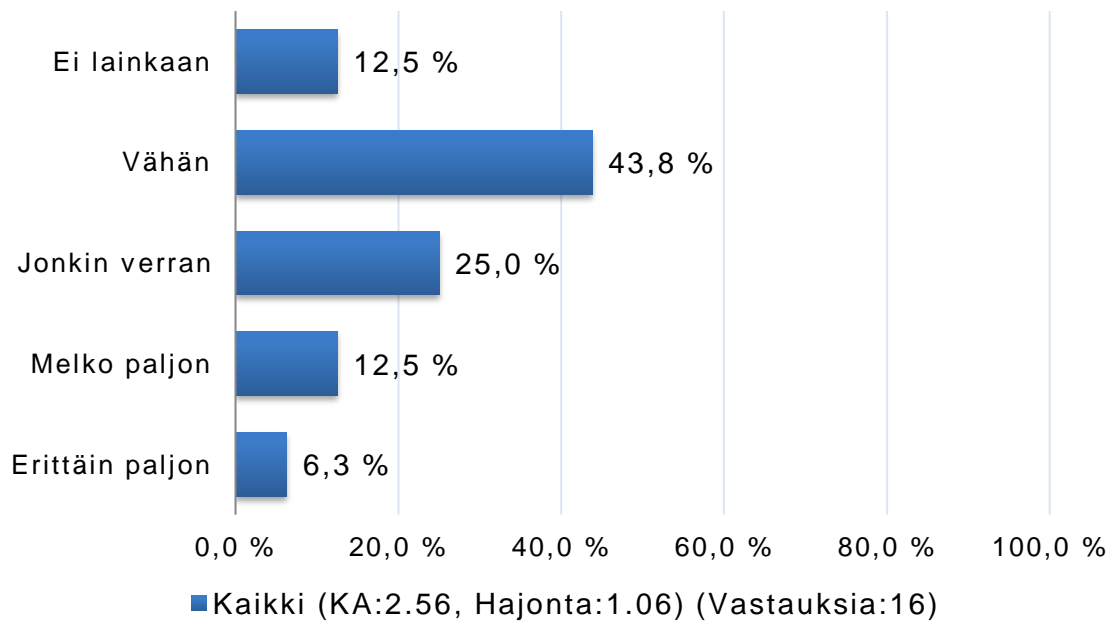
Oppimisympäristöön hajaantuneiden oppilaiden puhe, kun itse puhun



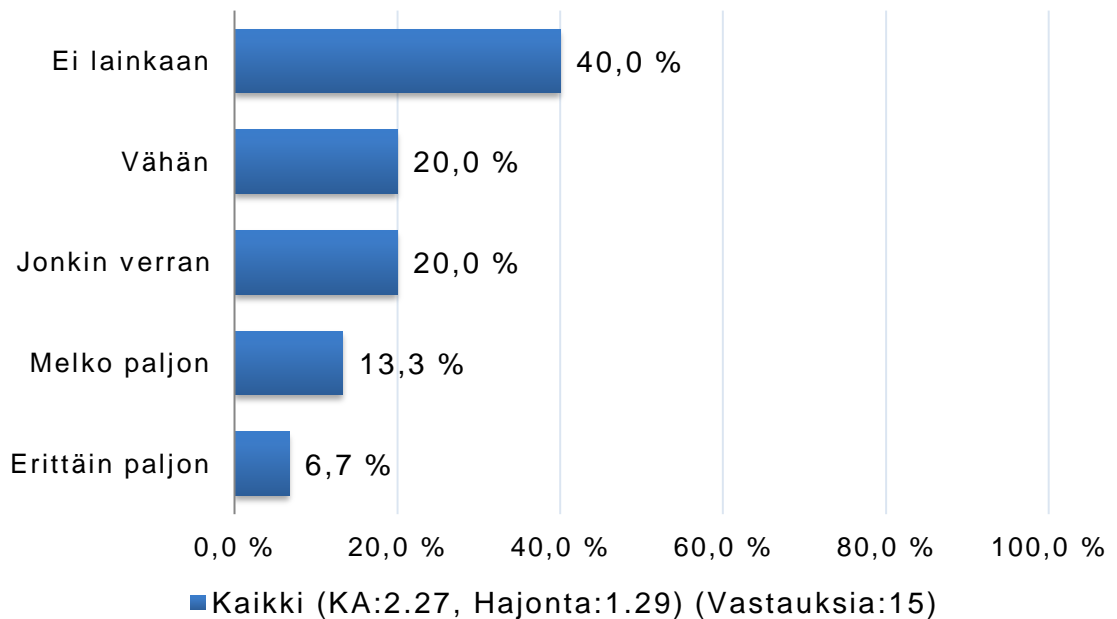
Muiden opettajien puhe, kun itse puhun



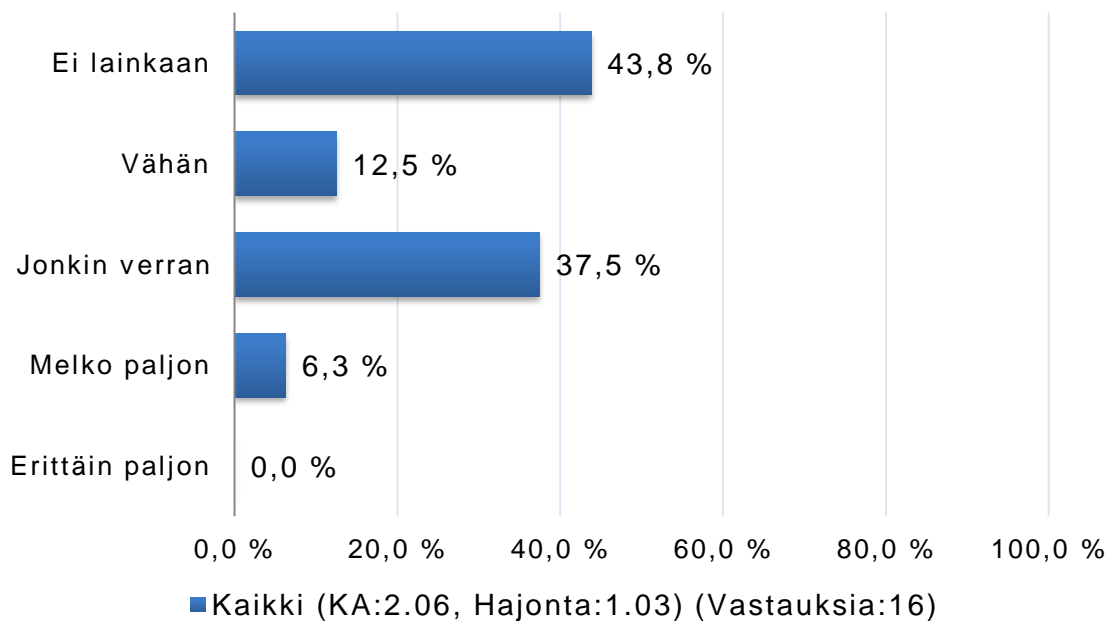
Muiden oppilaiden puhe, kun oma ryhmäni tekee keskittymistä vaativia tehtäviä



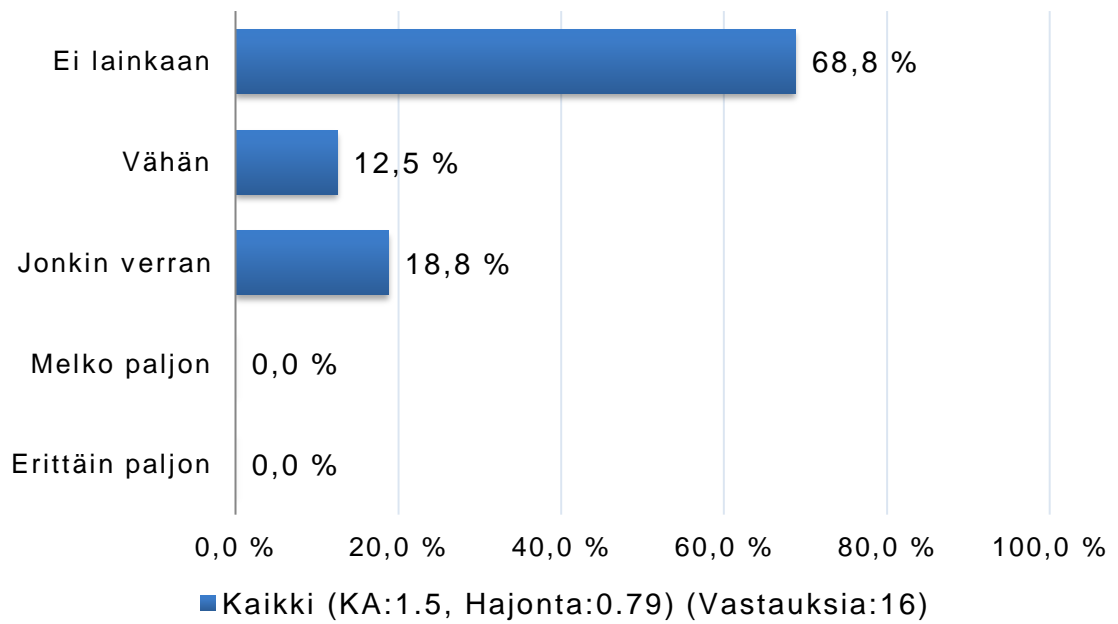
Muiden opettajien puhe, kun oma ryhmäni tekee keskittymistä vaativia tehtäviä



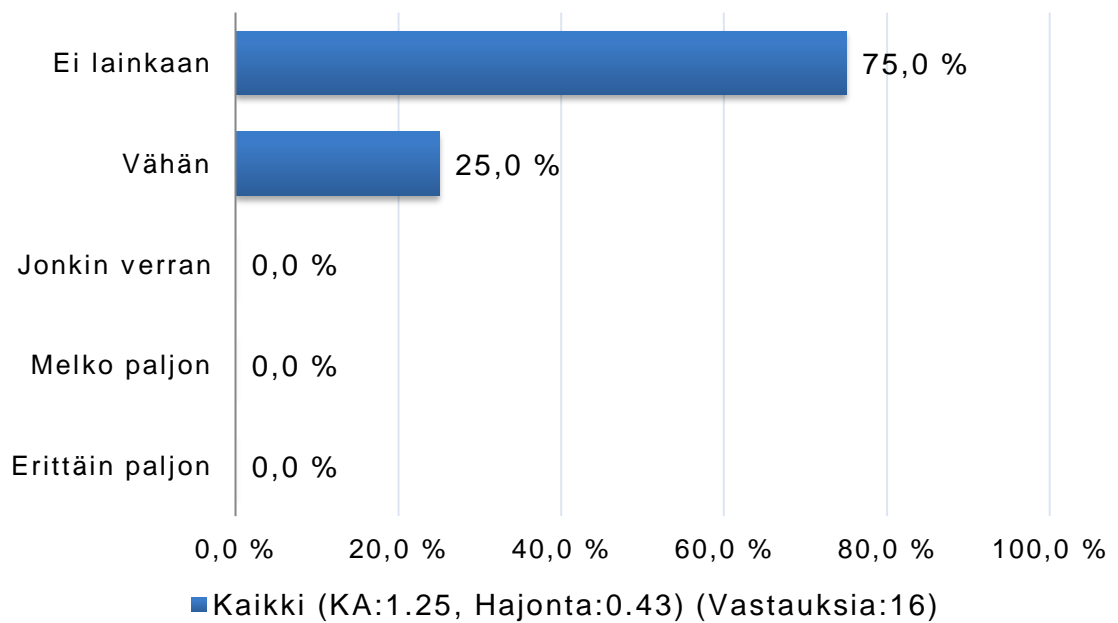
Oppilaiden ja muiden opettajien liikkuminen oppimisympäristössä



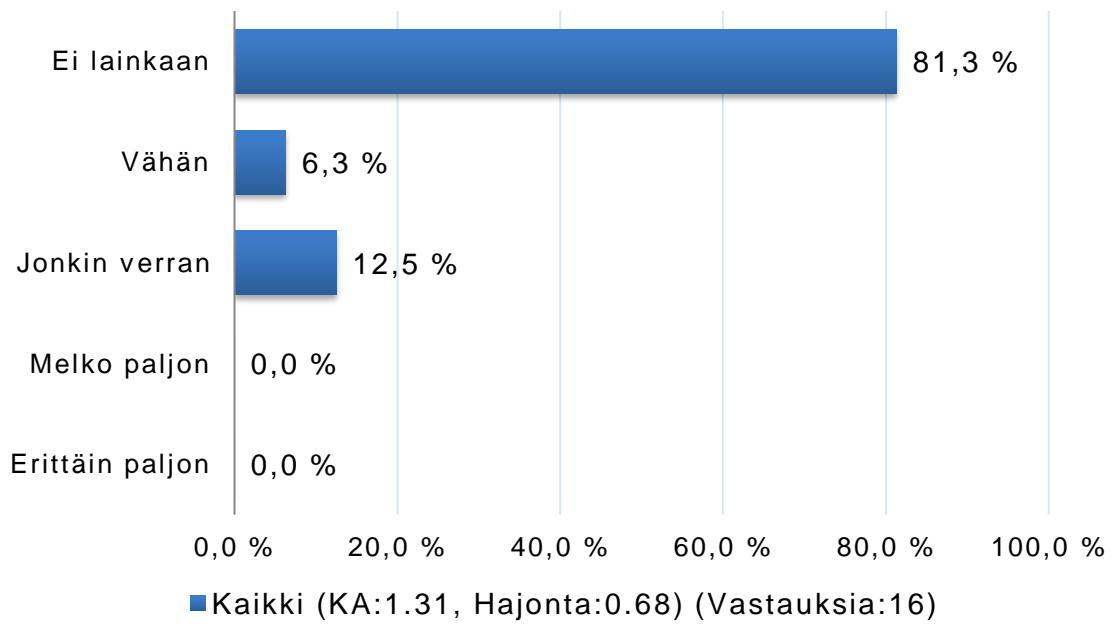
Epäjärjestys ja sotku



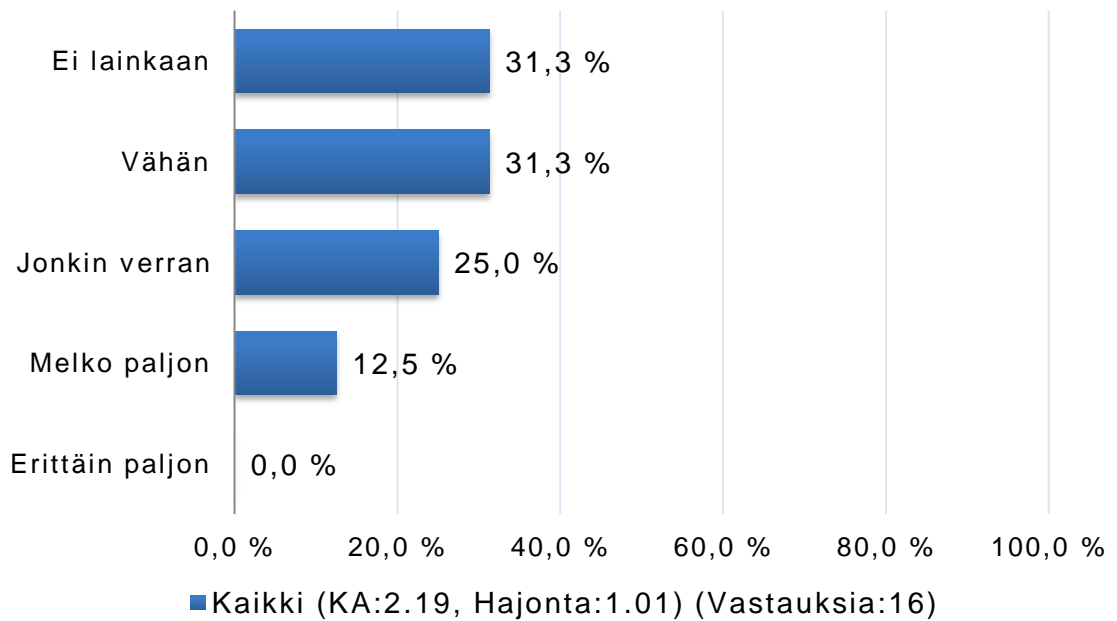
Hajut ja tuoksut



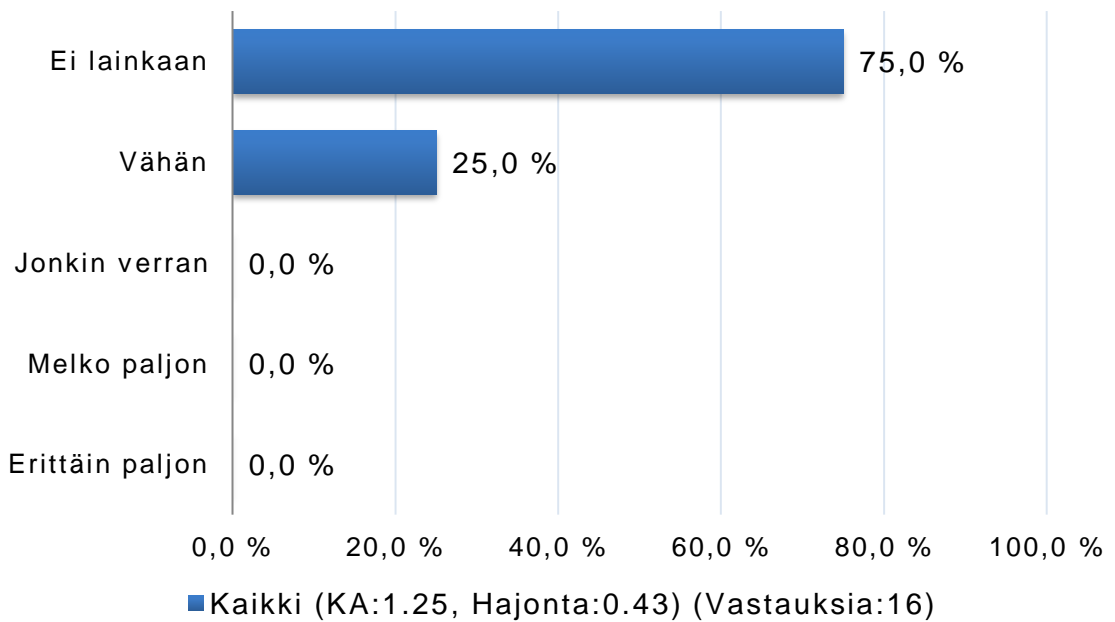
Huono sisäilma



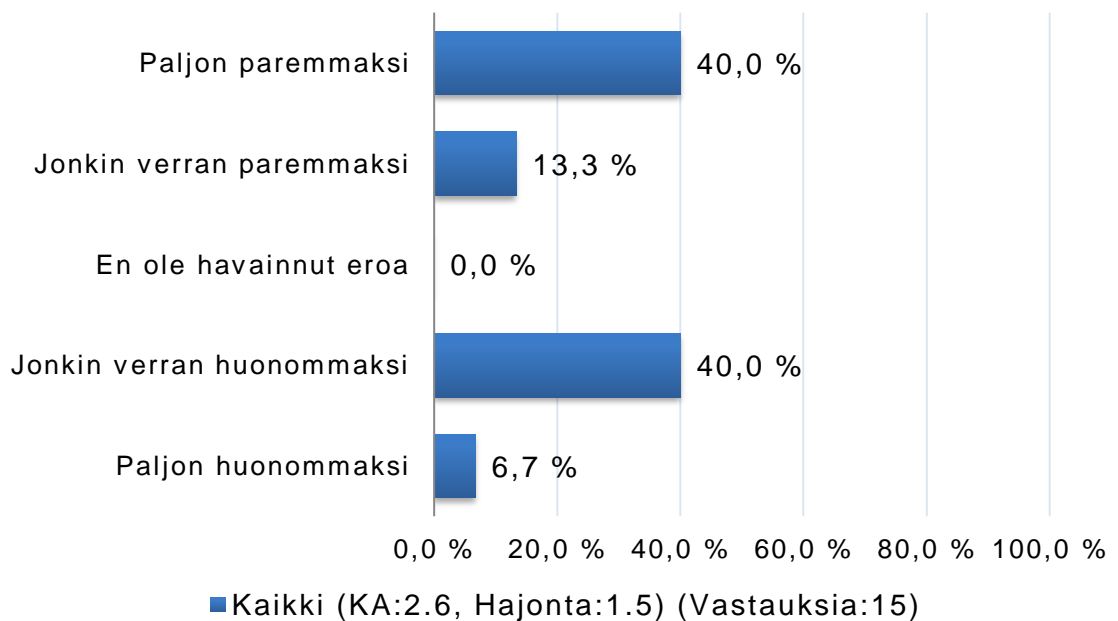
Liian korkea tai matala lämpötila



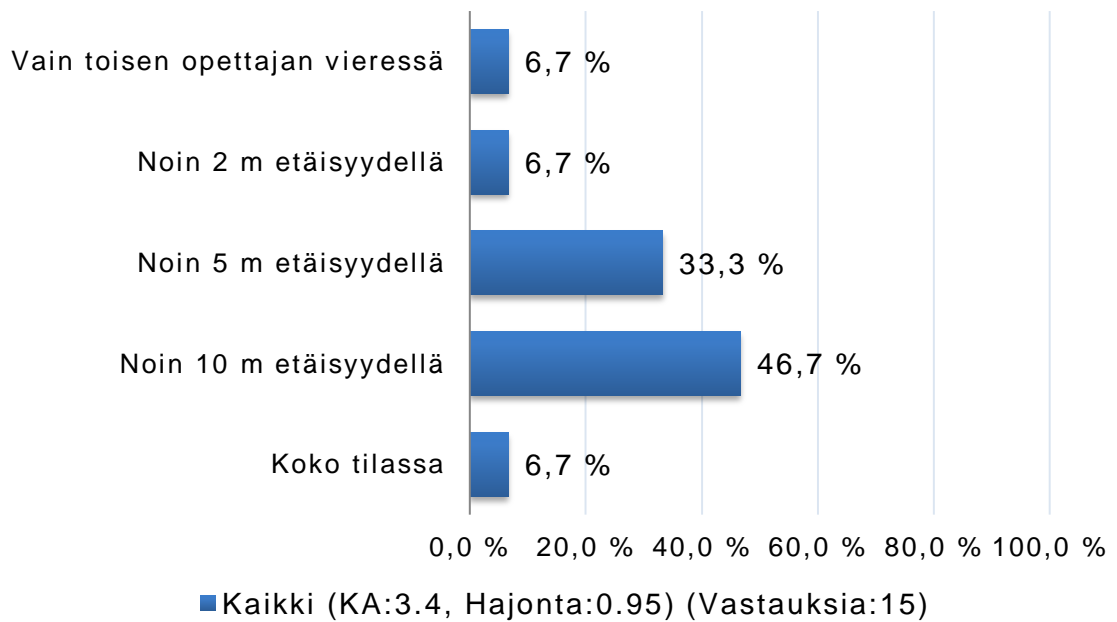
Riittämätön valaistus



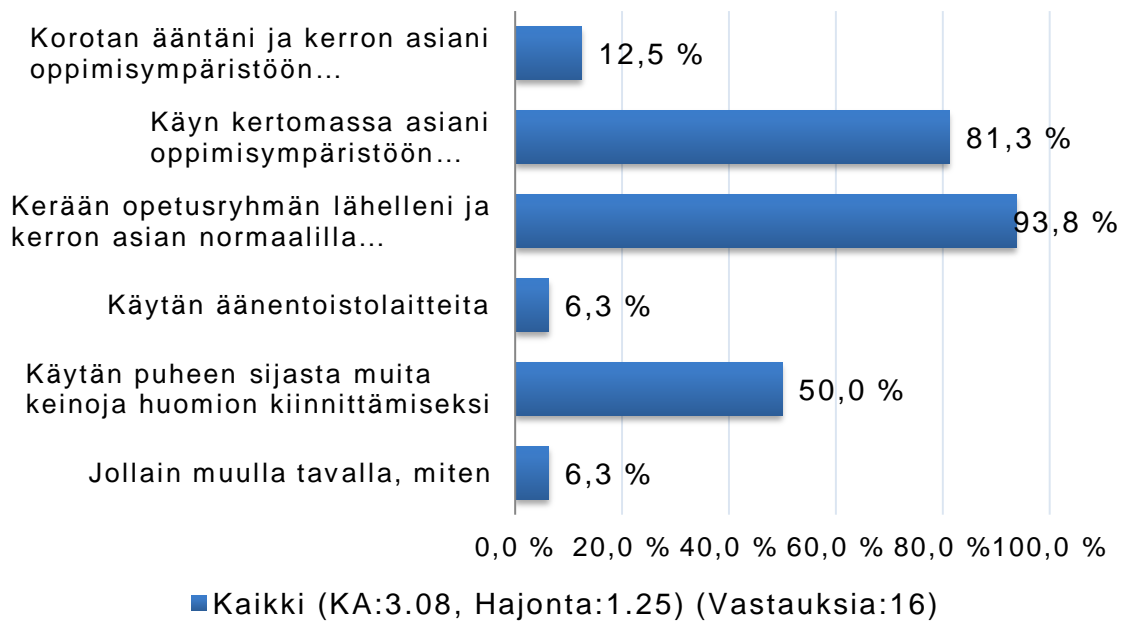
2.3 Millaiseksi koet avoimen oppimisympäristön ääniolosuhteet luokkahuoneeseen verrattuna (mikäli kokemusta luokkahuoneista)?



2.4 Kuinka kaukana muiden opettajien puheesta saa selvää?



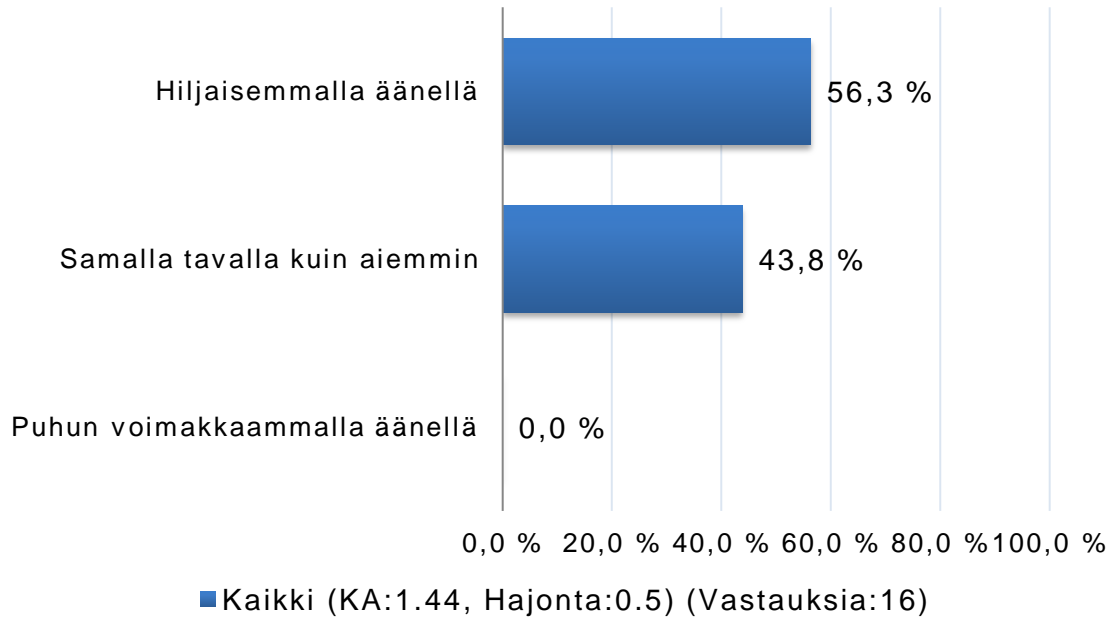
2.5 Miten toimit, kun haluat antaa ohjeita koko opetusryhmällesi (valitse yksi tai useampi vaihtoehto)?



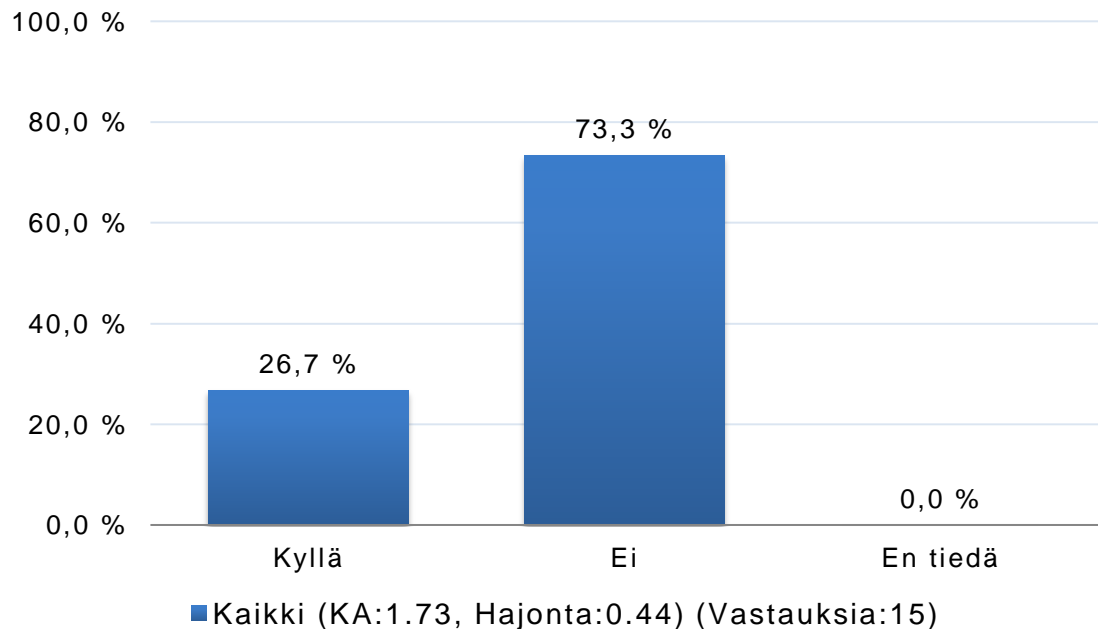
- Lampaankelloa kilisyttämällä saan ryhmäni huomion.

3. ÄÄNENKÄYTTÖ AVOIMESSA OPPIMISYMPÄRISTÖSSÄ

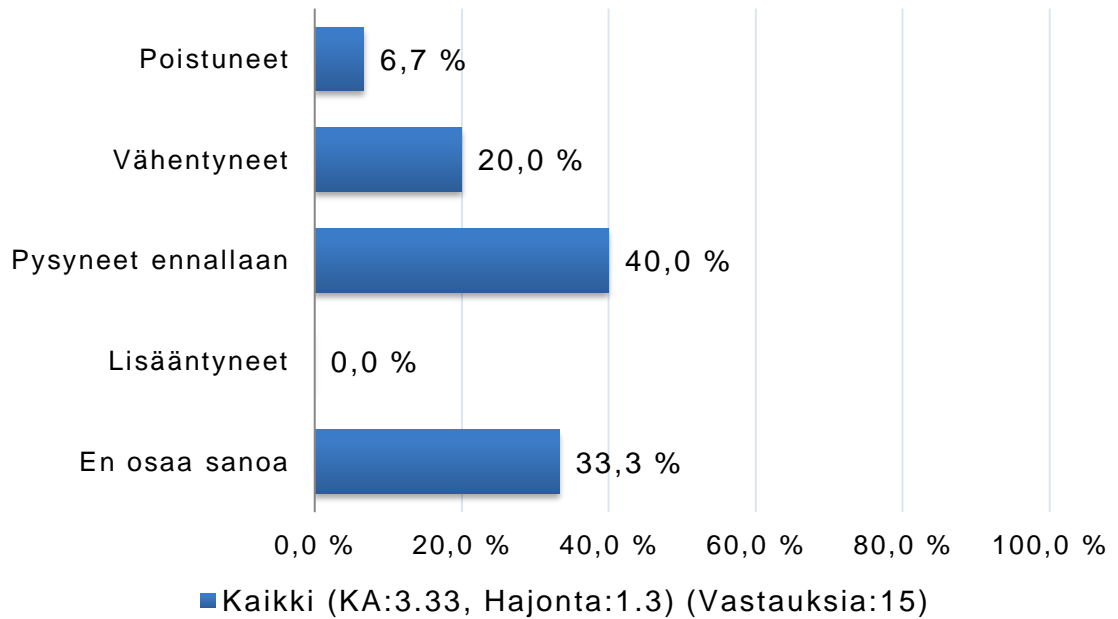
3.1 Aikaisempaan työympäristösi verrattuna puhut nykyisessä työympäristössä:



3.2 Oliko sinulla edellisessä koulussa ongelmia äänenkäytössä?



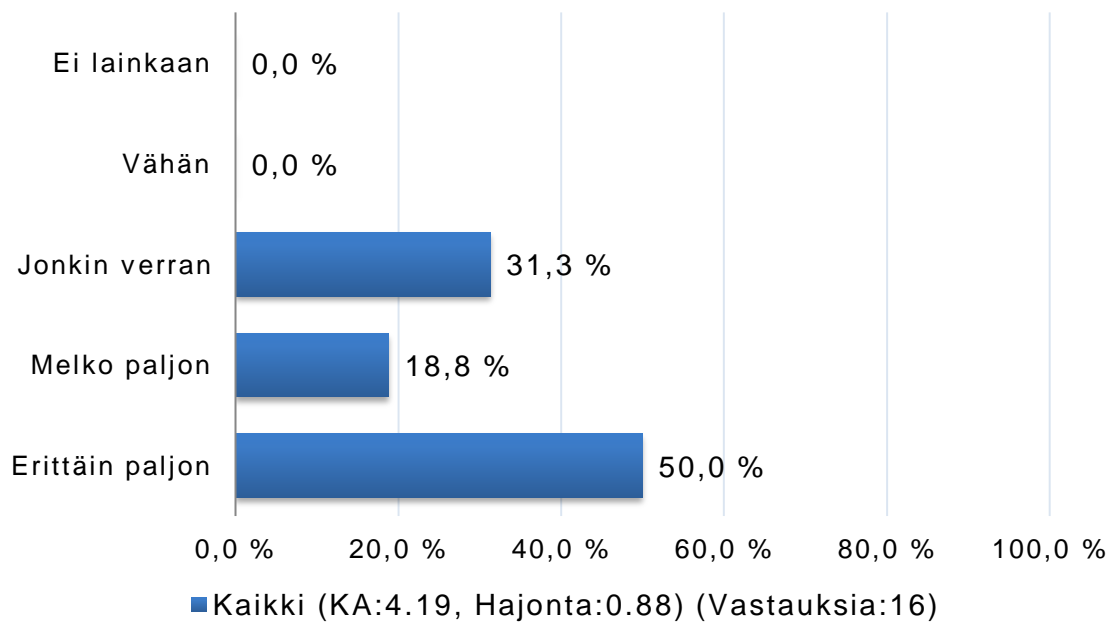
3.3 Jos vertaat äänenkäytön ongelmia edelliseen työympäristösi, ovatko ongelmasi:



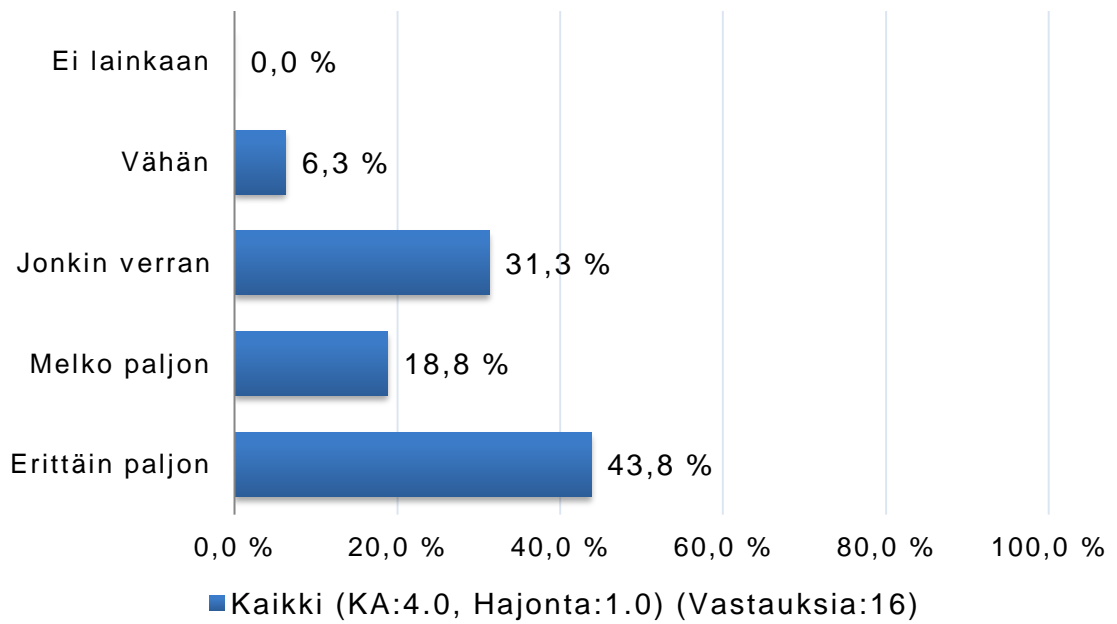
4. AVOIN OPPIMISYMPÄRISTÖ OPPILAIDEN KANNALTA

4.1 Oppimisympäristössä koulutyötä edistää oppilaiden kannalta:

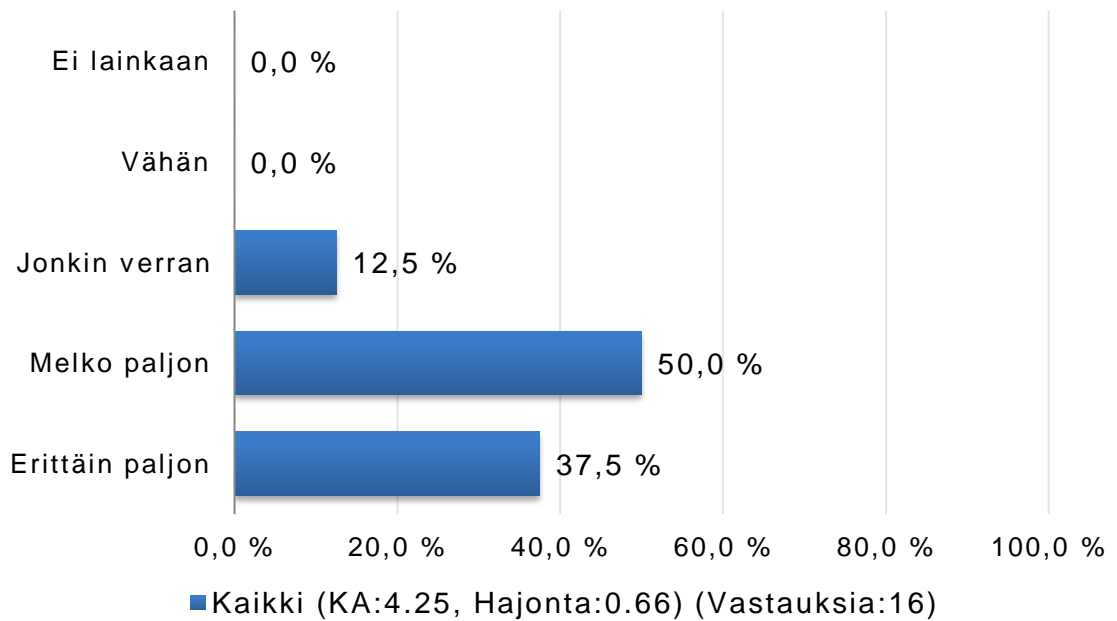
Oppilaiden rauhallinen käyttäytyminen



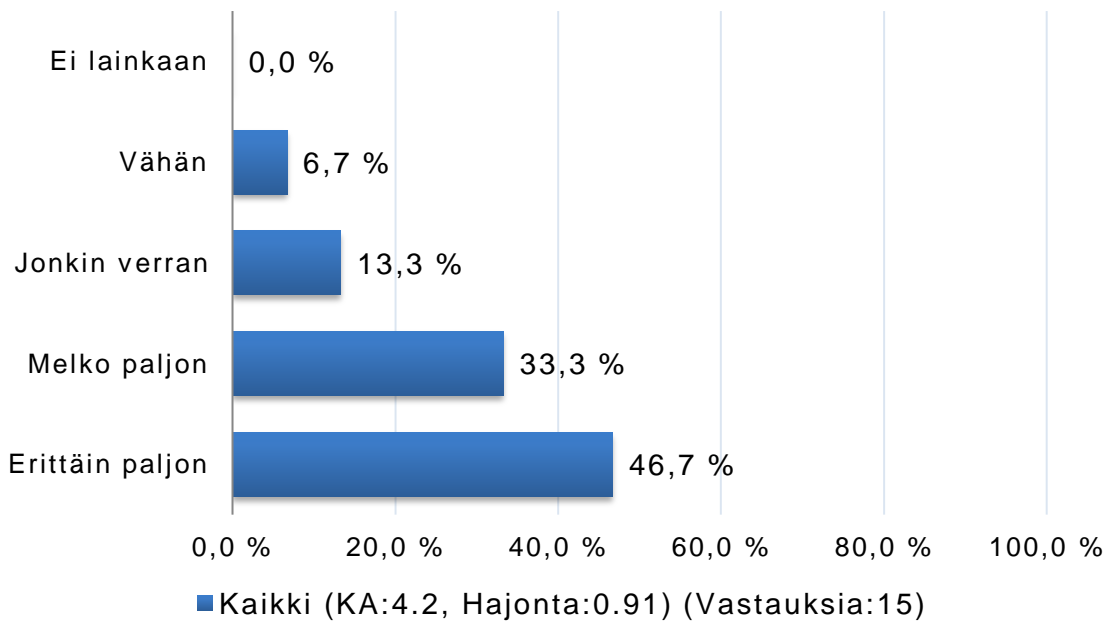
Rauhalliset ääniolosuhteet



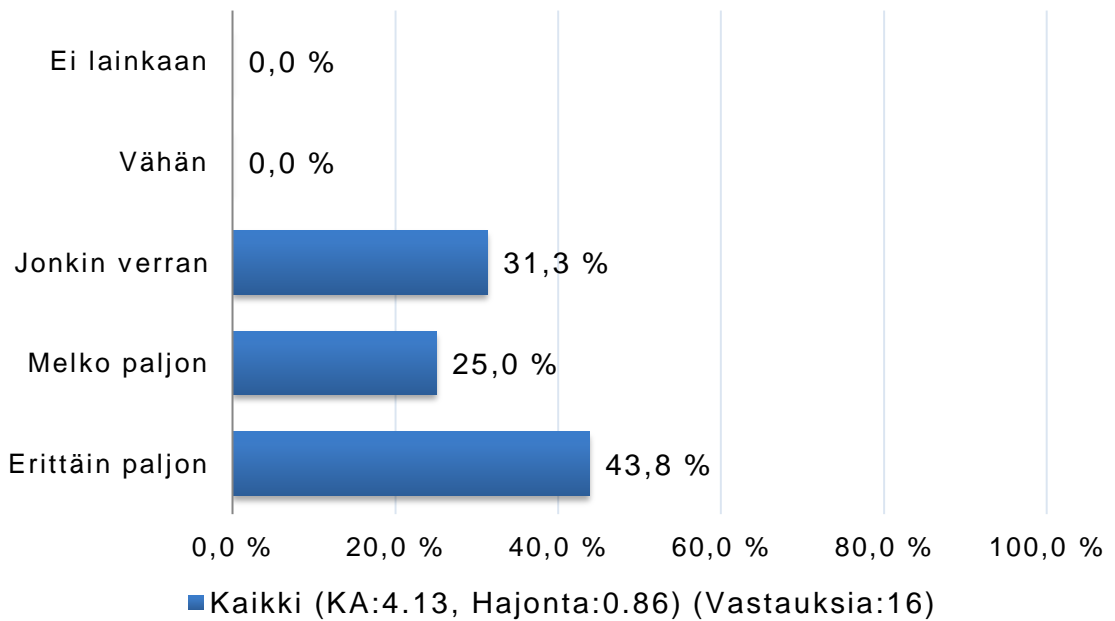
Ryhmätyöskentelymahdollisuudet



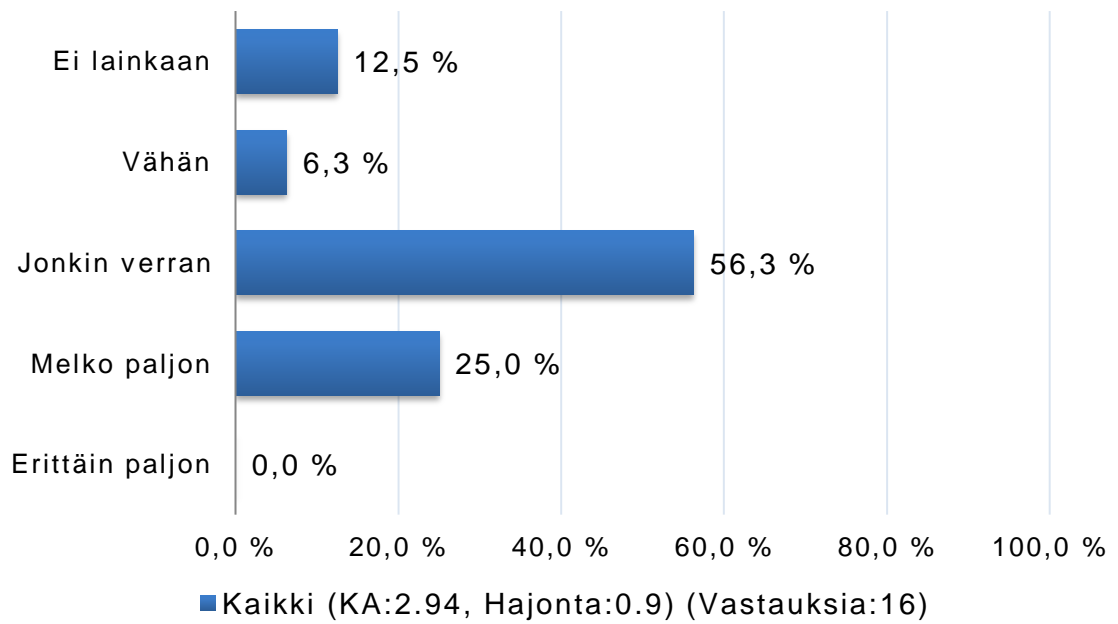
Yksilötyöskentelyn mahdollisuus



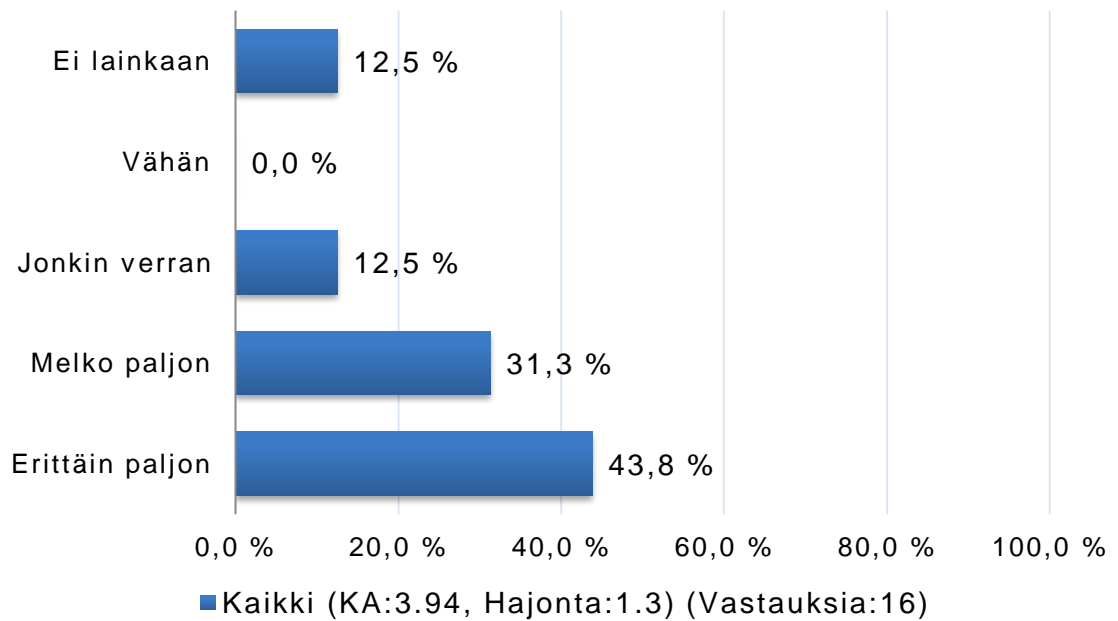
Oppilaskeskeinen opetus



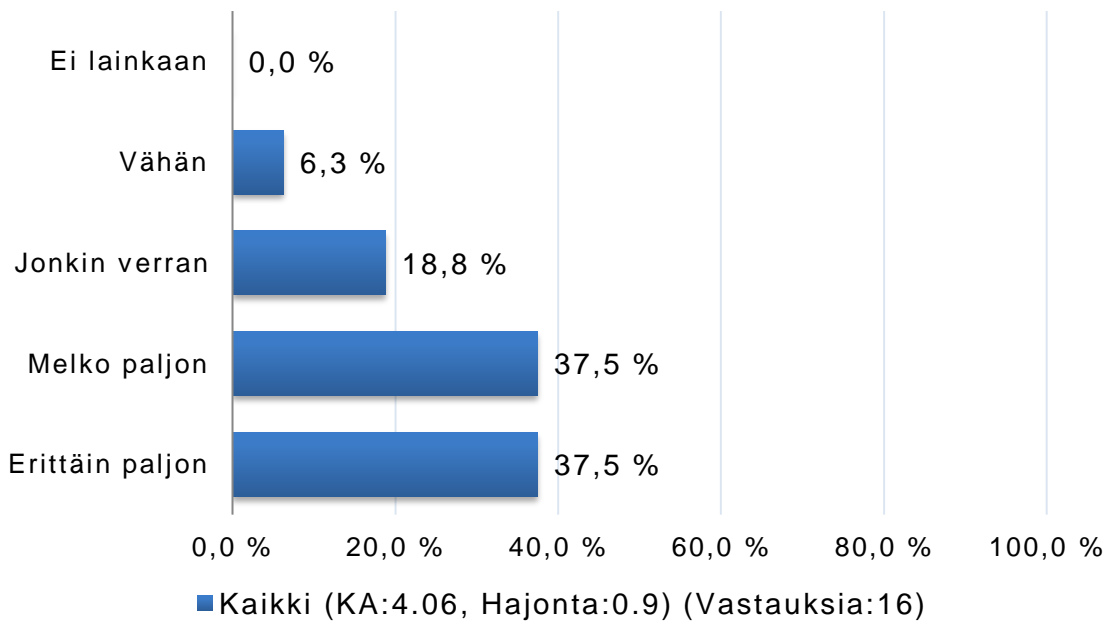
Frontaaliopetus



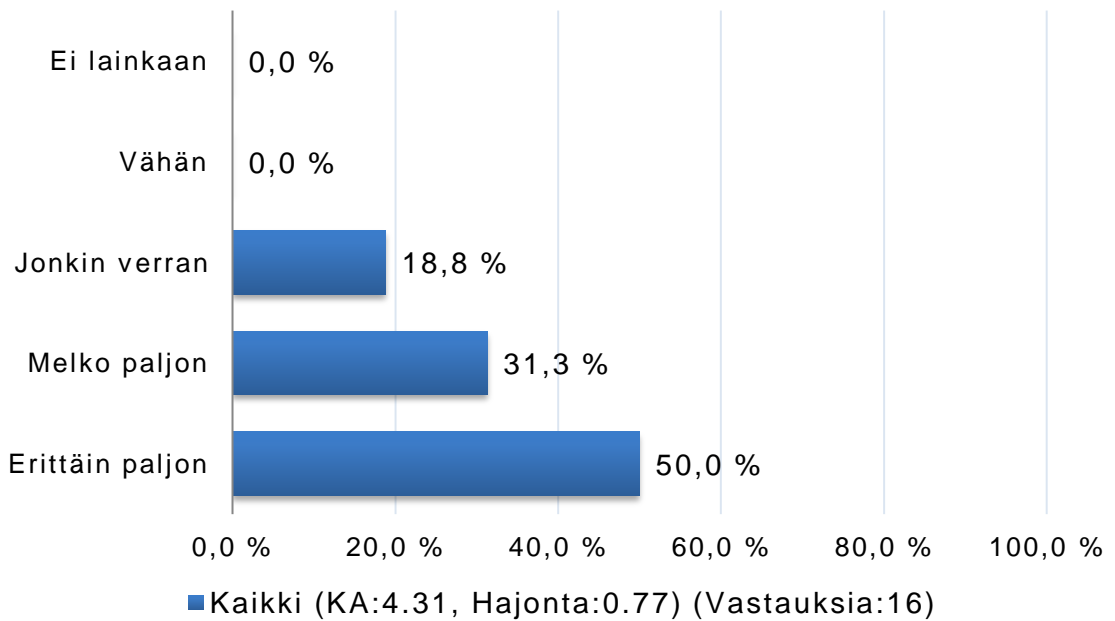
Merkitykselliset ja monimuotoiset tehtävät



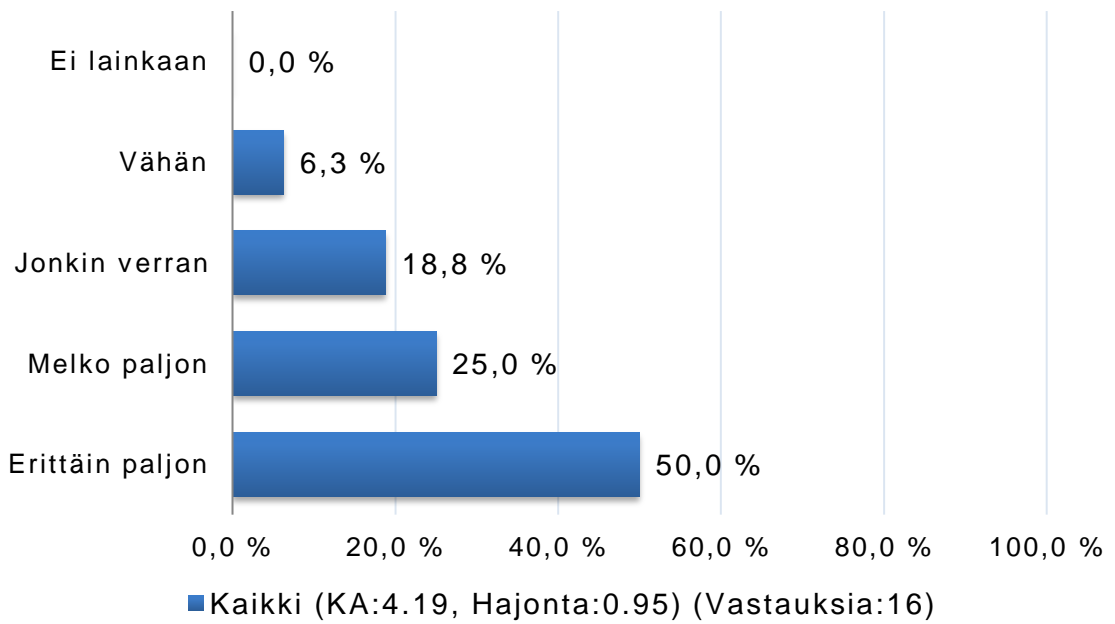
Opettajien mahdollisuus tarkkailla oppilaita



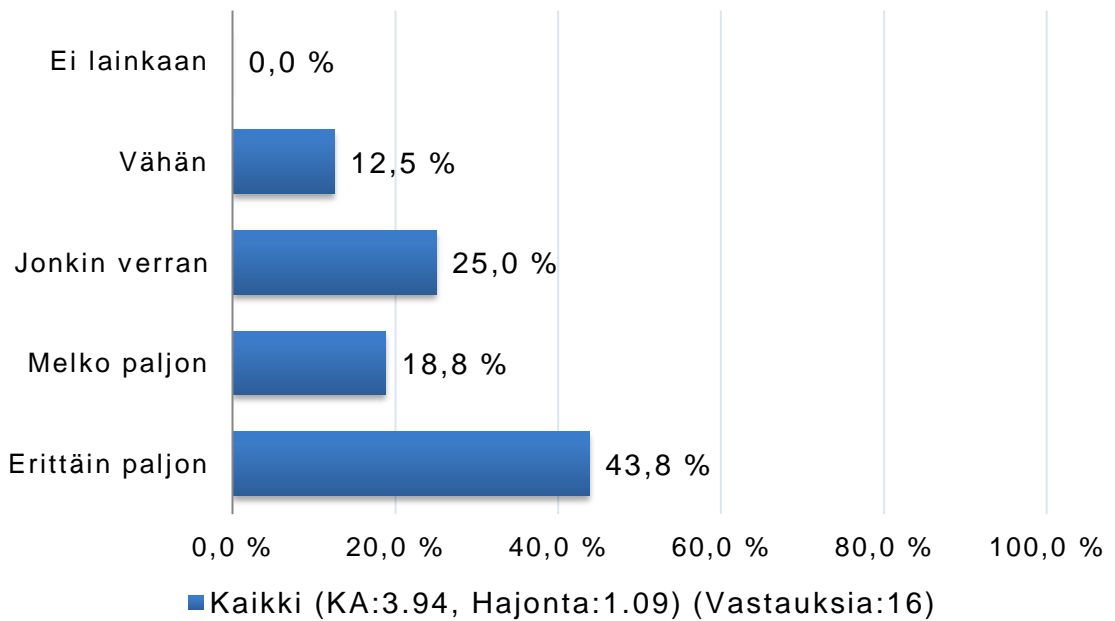
Mahdollisuus käyttää tilaa vapaasti



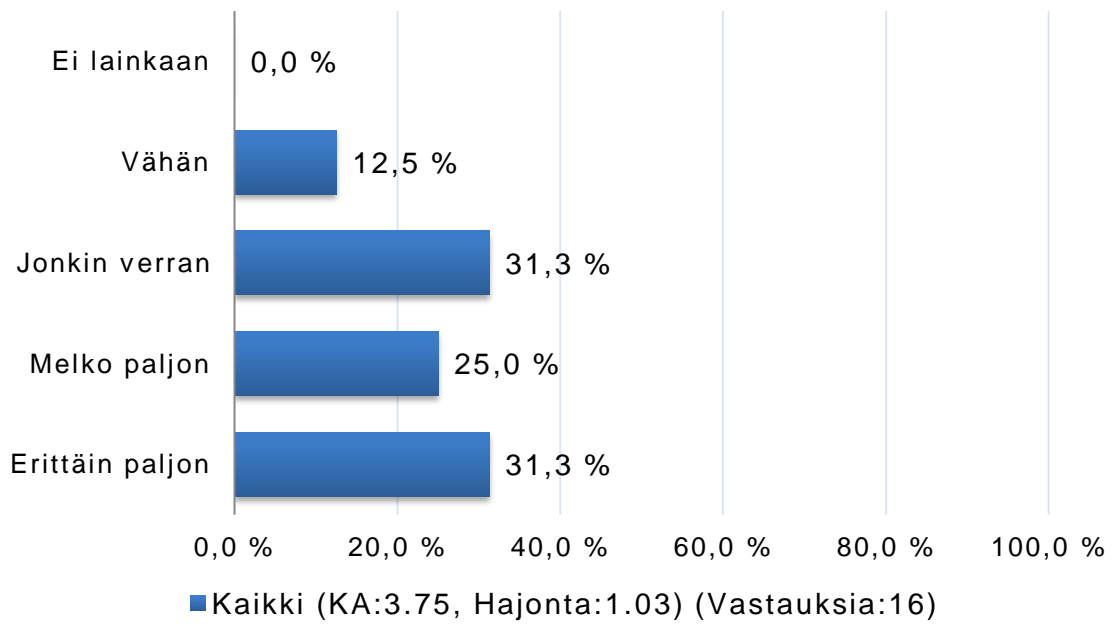
Kalustuksen tarkoituksenmukaisuus



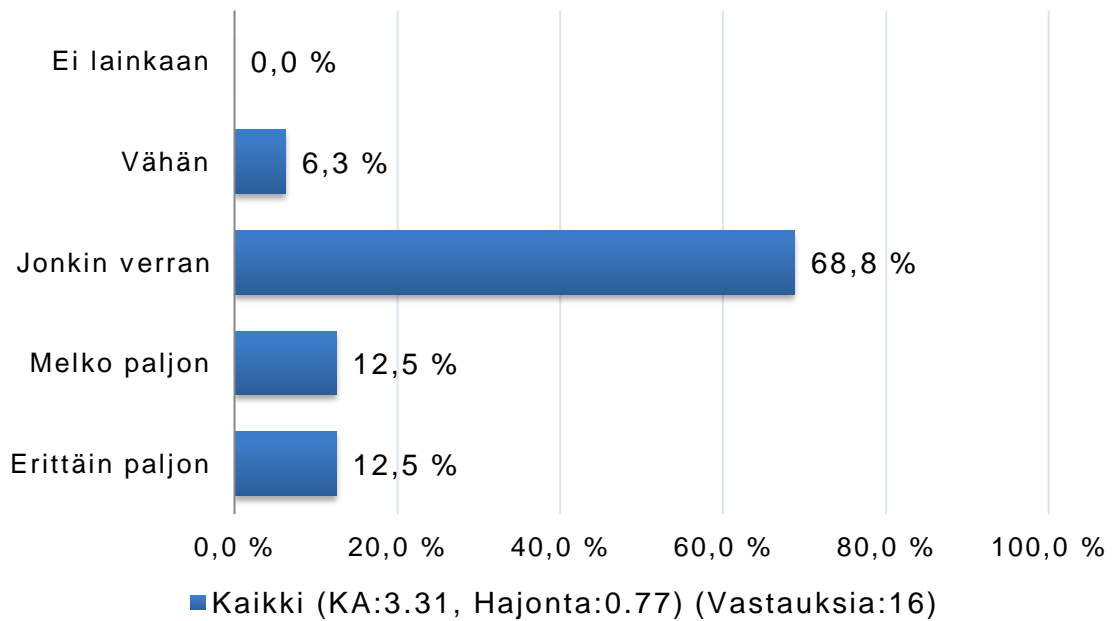
Kalustuksen muunneltavuus



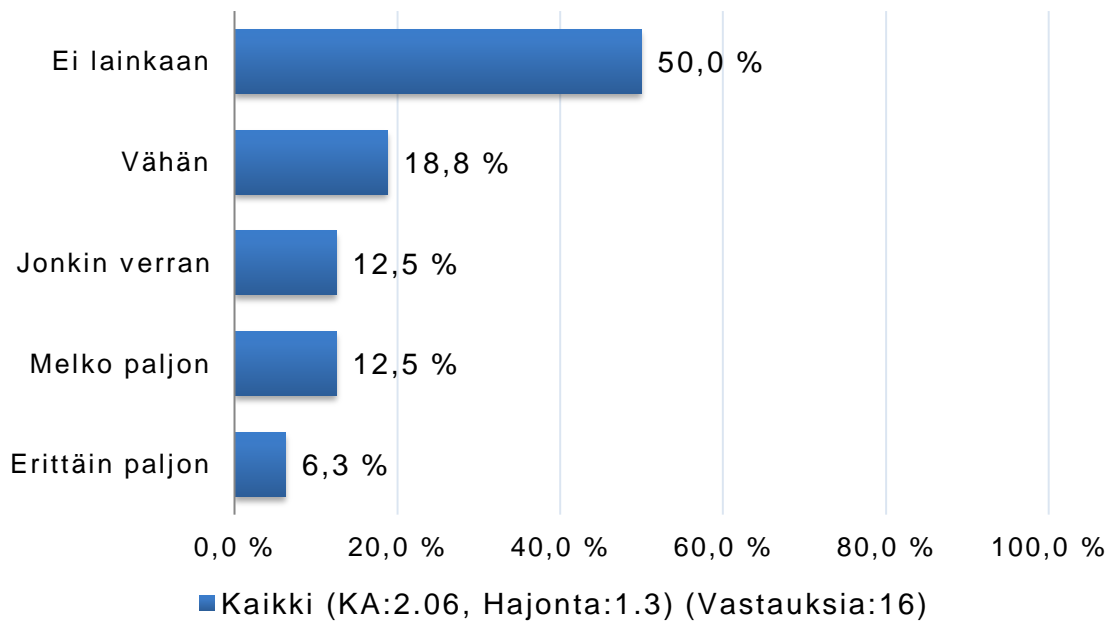
Oppimisympäristön muunneltavuus tilanjakajilla



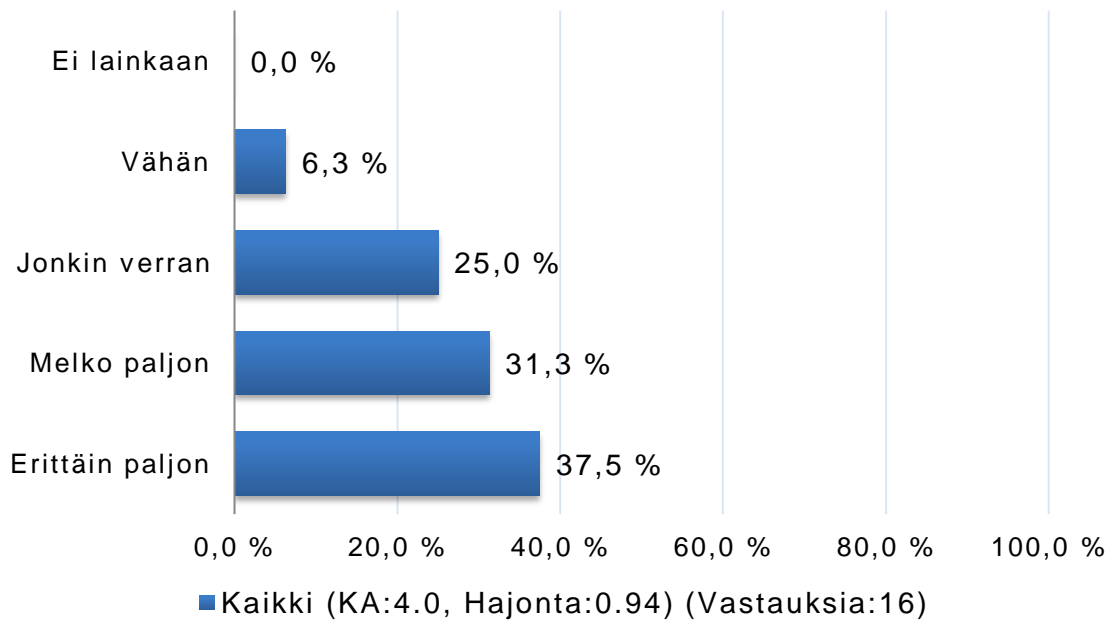
Perinteiset opetuksen apuvälineet



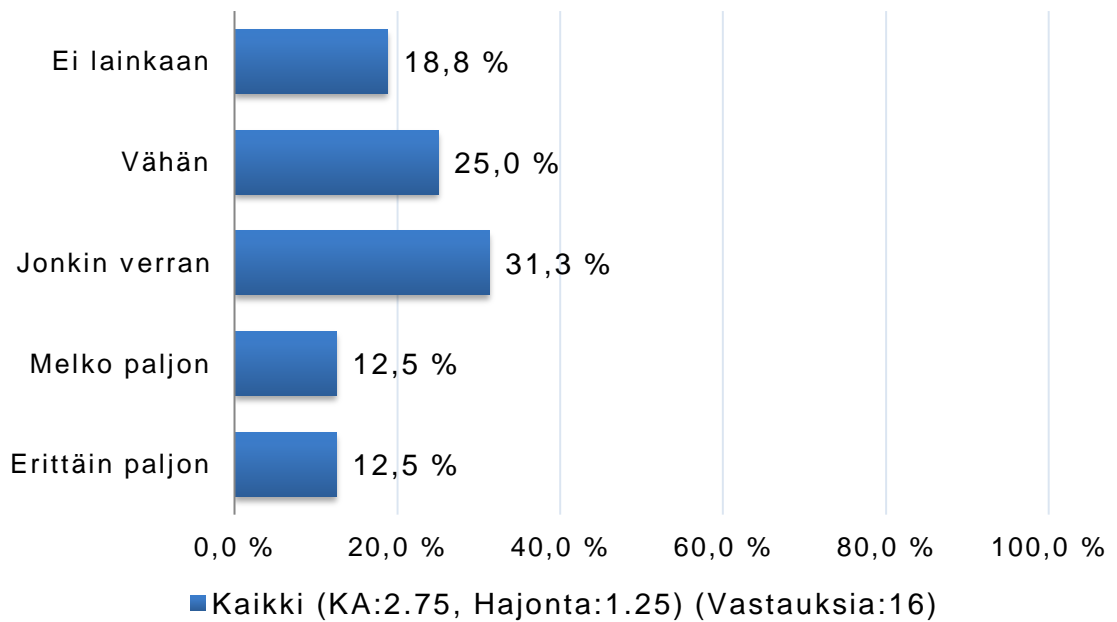
Älypuhelinien käyttö



Tietotekniikka ja sen sovellukset opetuksen apuvälineinä

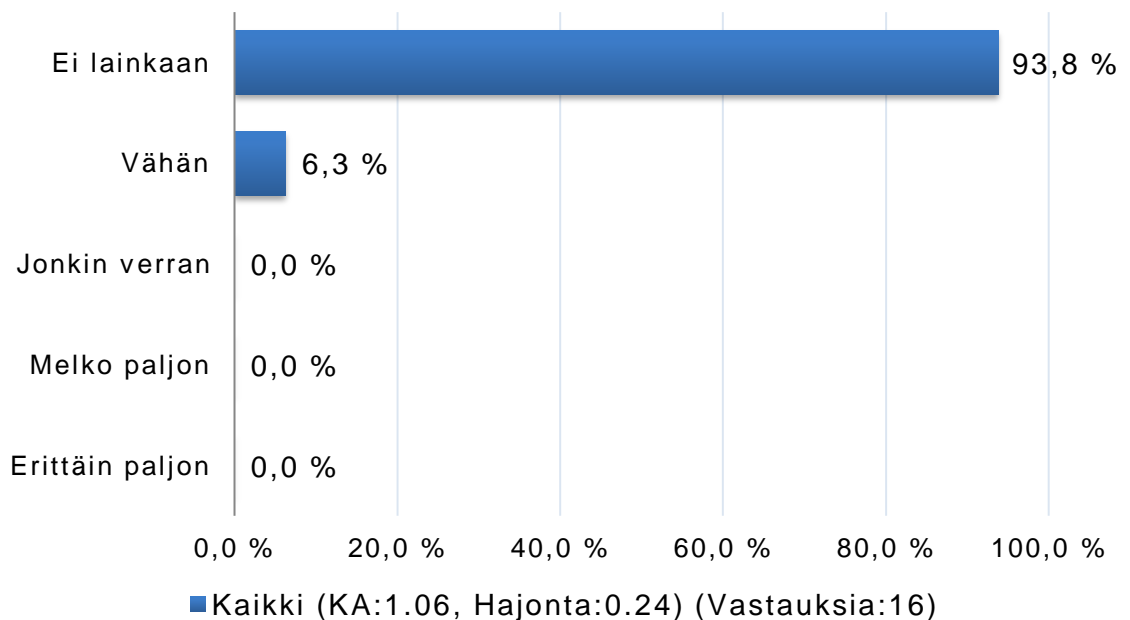


Sähköinen avoin oppimisympäristö (esim. intranet, portaali)

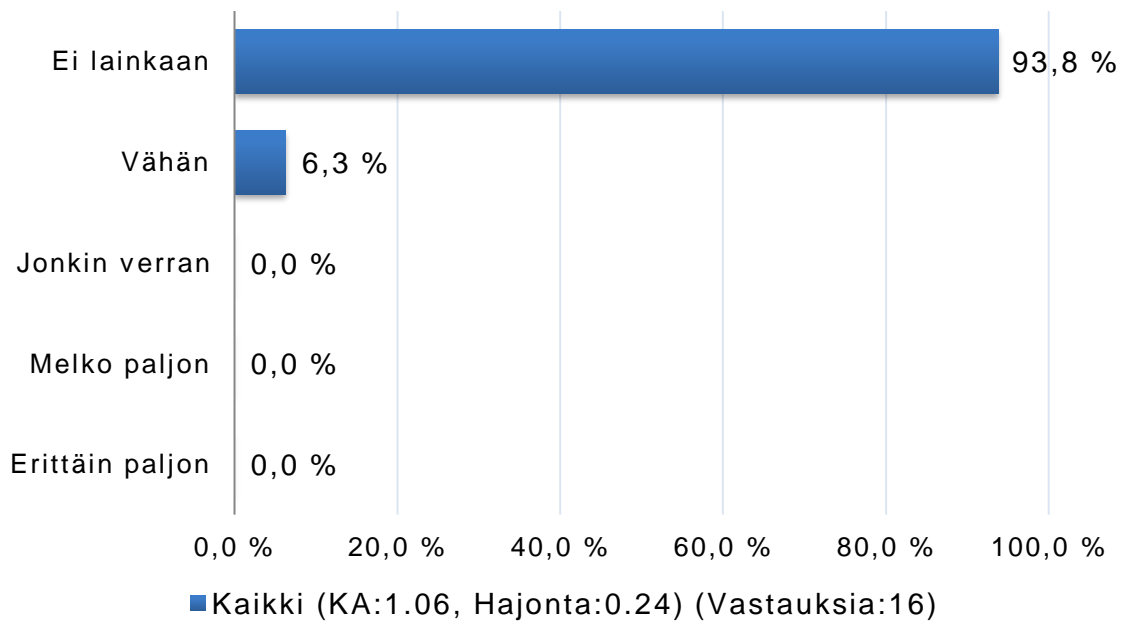


4.2 Oppimisympäristössä koulutyötä vaikeuttaa oppilaiden kannalta:

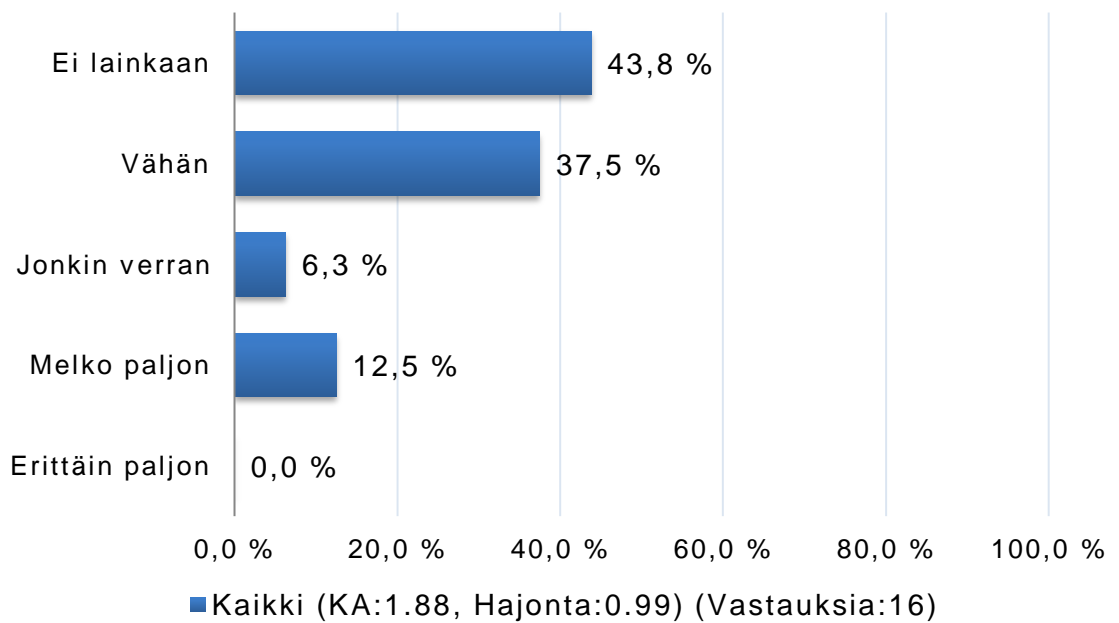
Ulkoa kuuluva liikennemelu



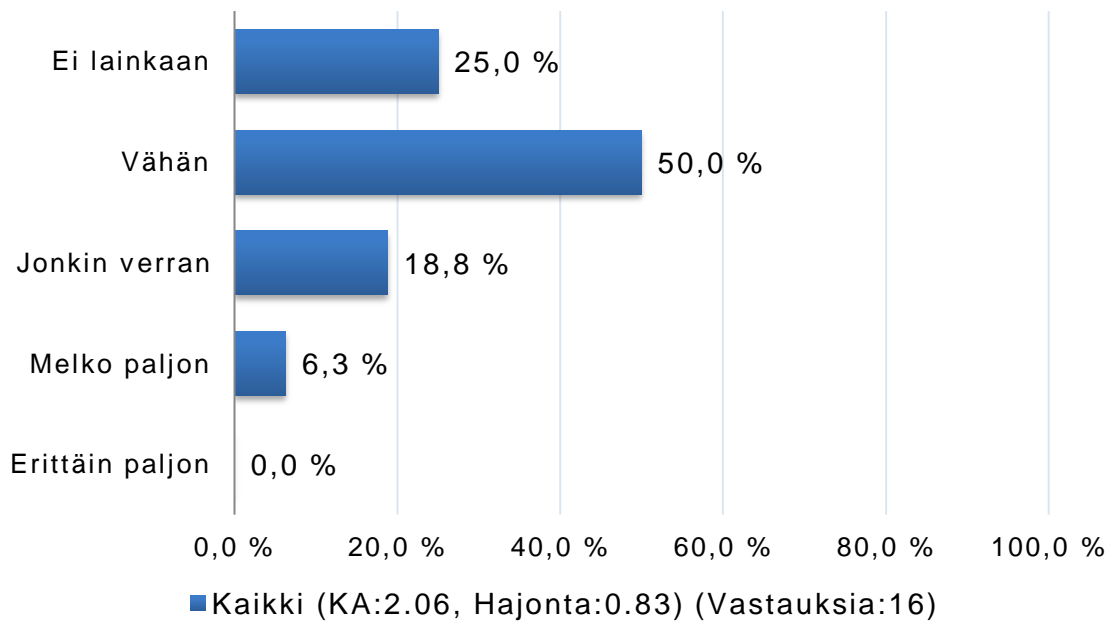
Ulkoa kuuluva muu melu



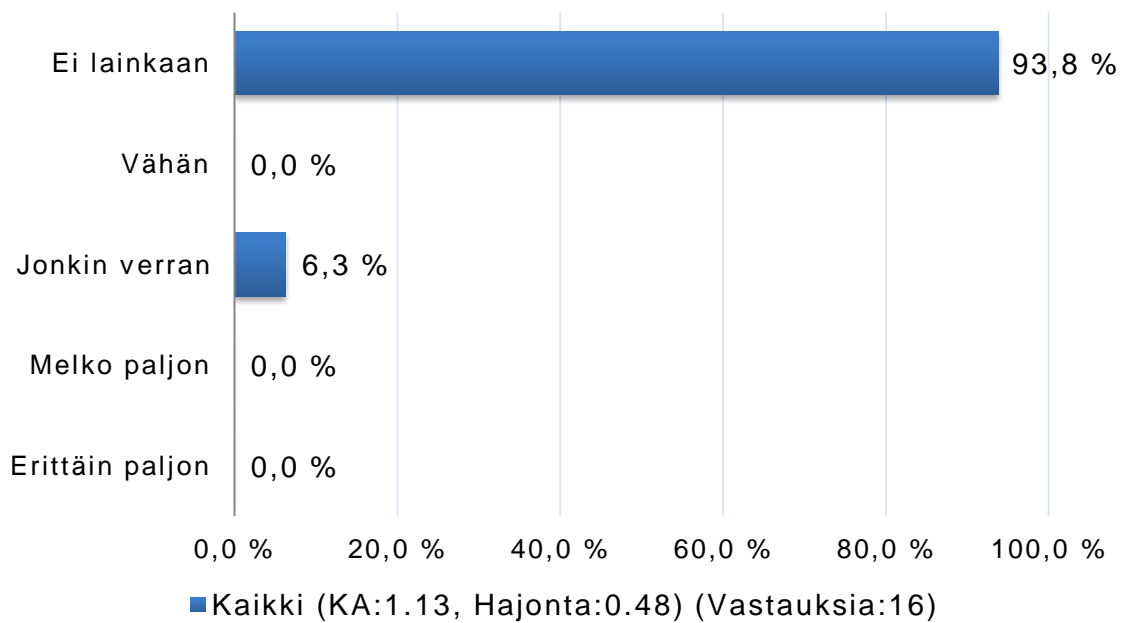
Tilan kaiuntaisuus



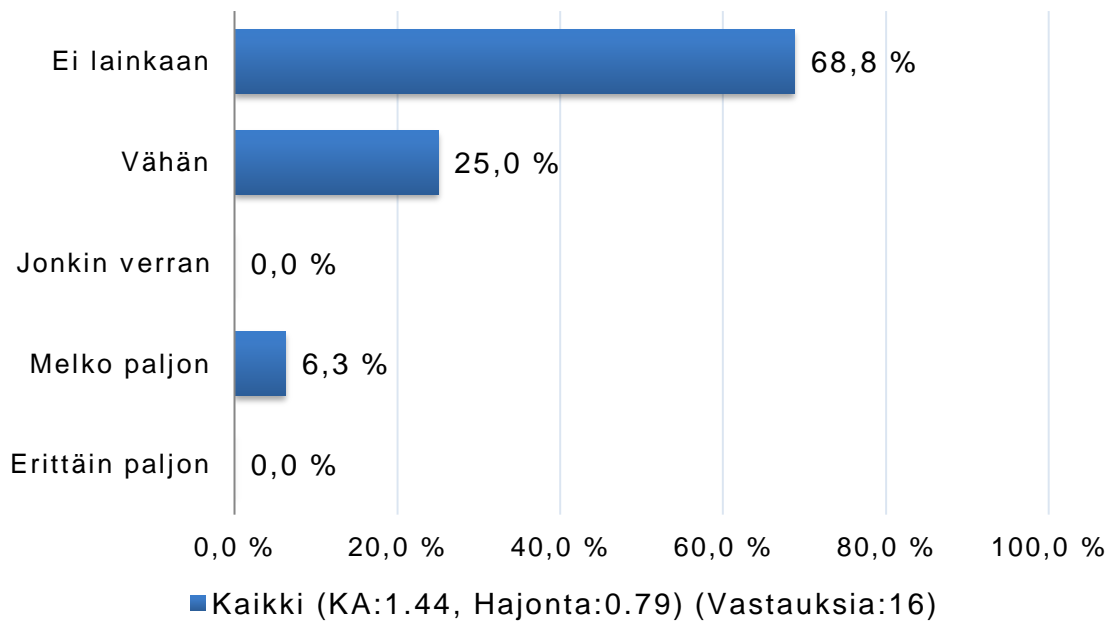
Käytäviltä kuuluvat äänet



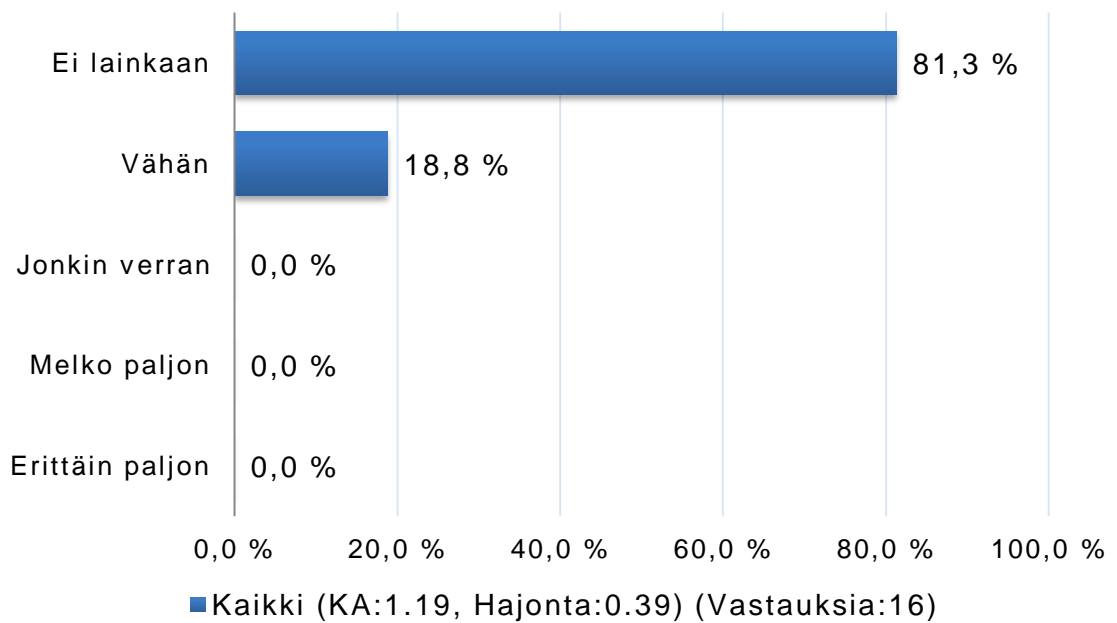
Ruokalasta kuuluvat äänet



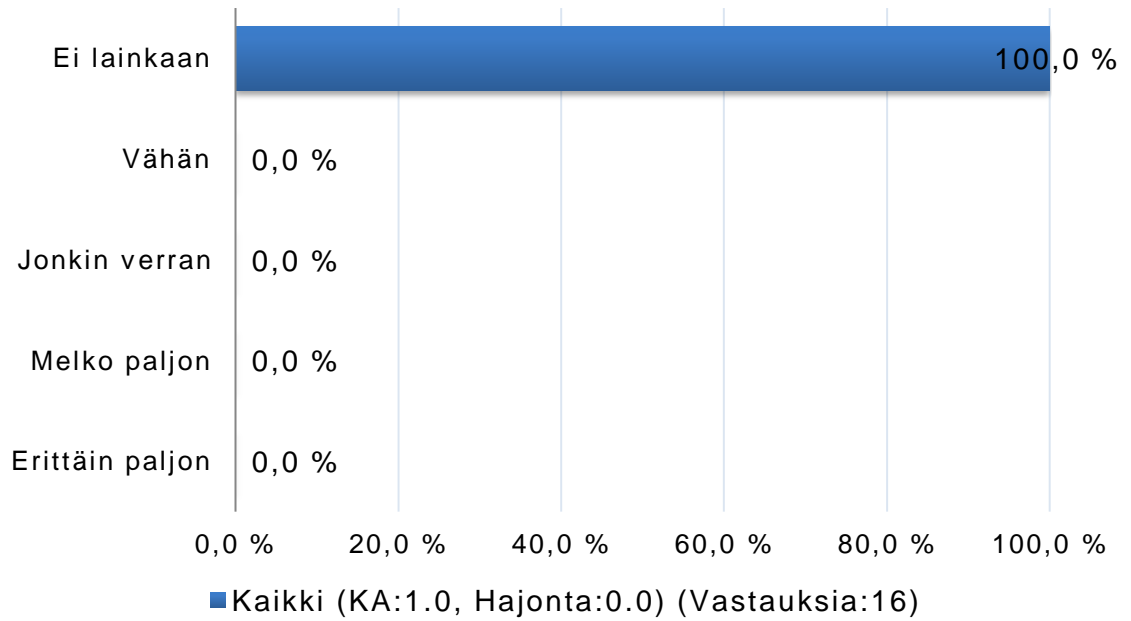
Viereisestä oppimisympäristöstä kuuluvat äänet



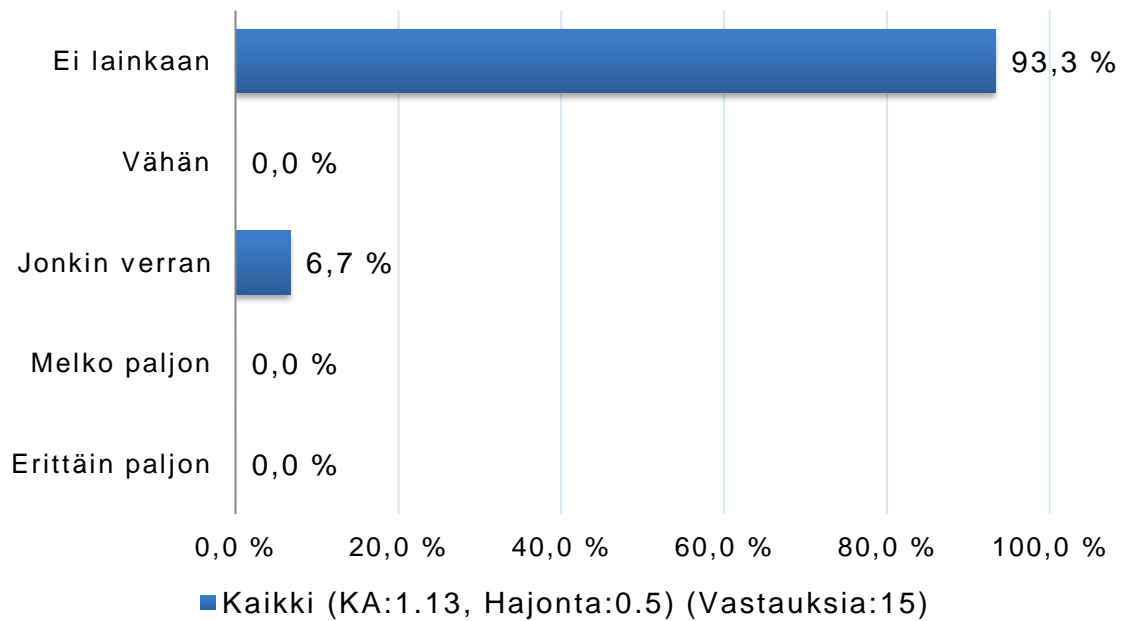
Ilmastoinnin tuottama melu



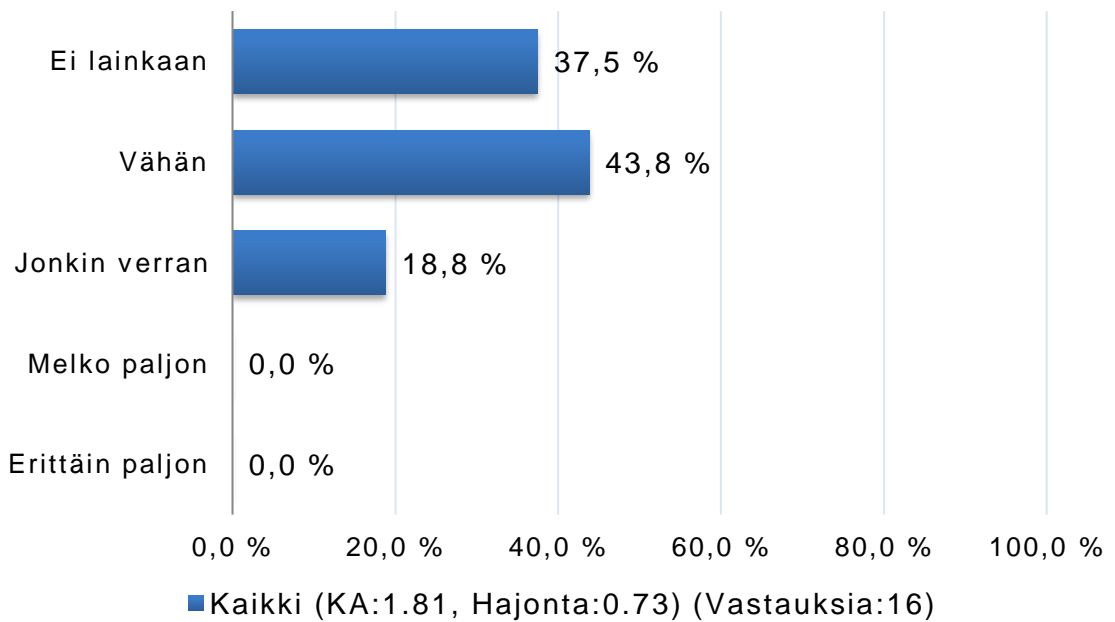
Kopiokoneiden ja tulostinten äänet



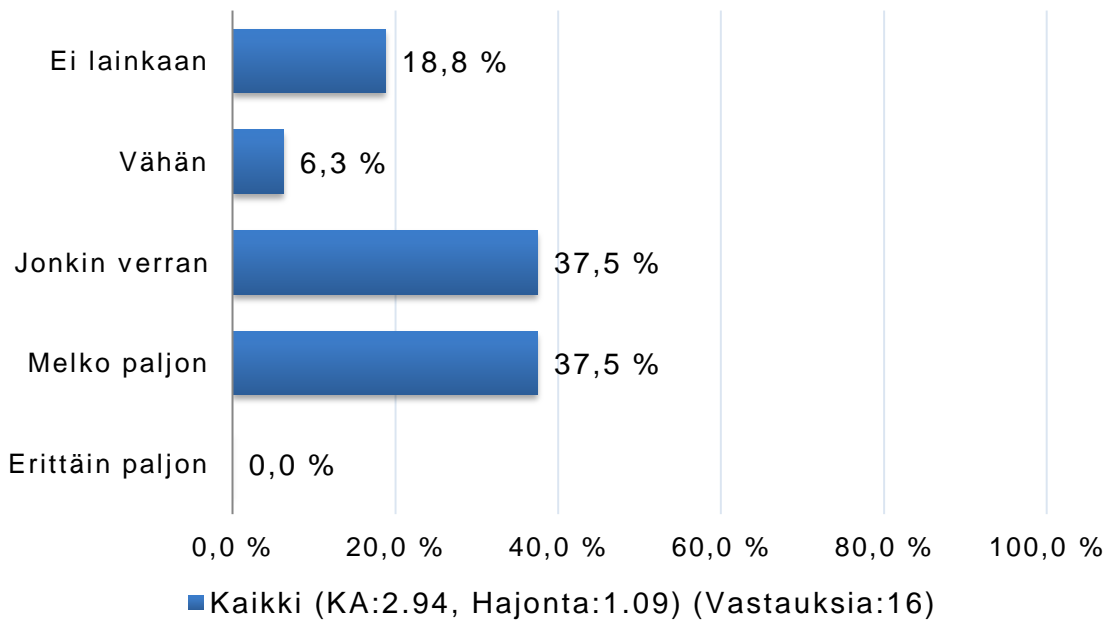
Matka- ja älypuhelinien käyttö ja äänet



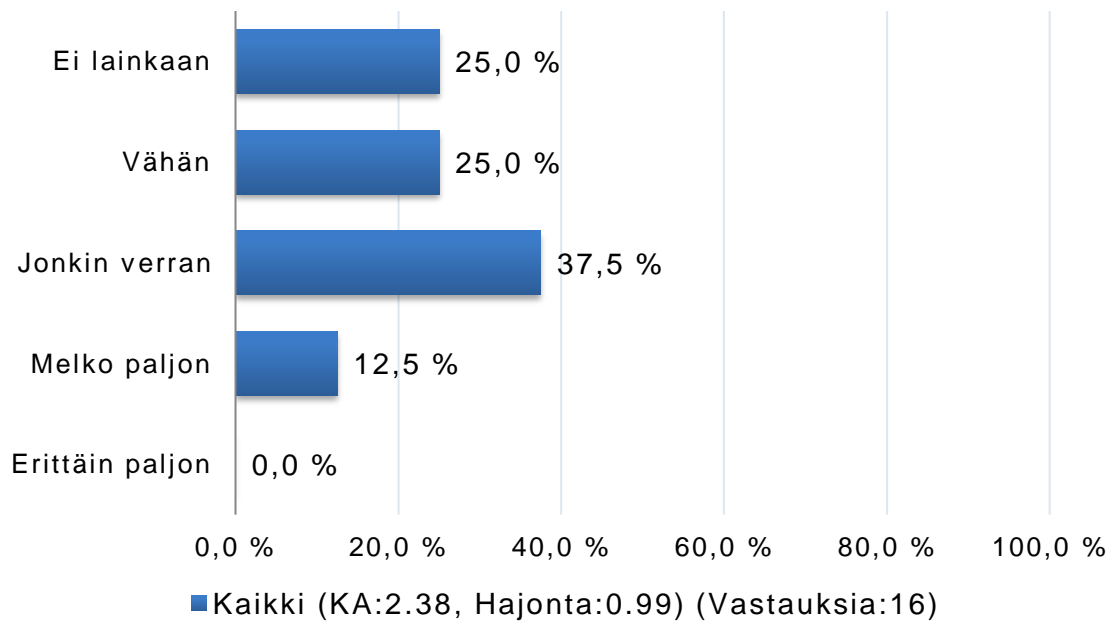
Tuolien ja muiden irtokalusteiden kolinat ja muut äänet



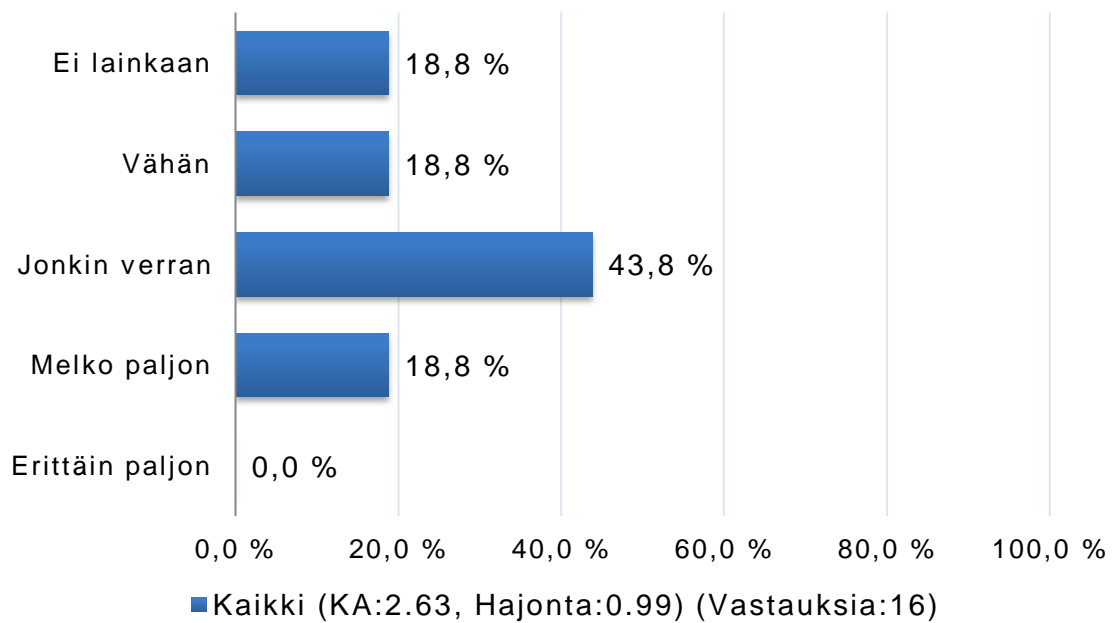
Oppilaiden lukumäärä avoimessa oppimisympäristössä



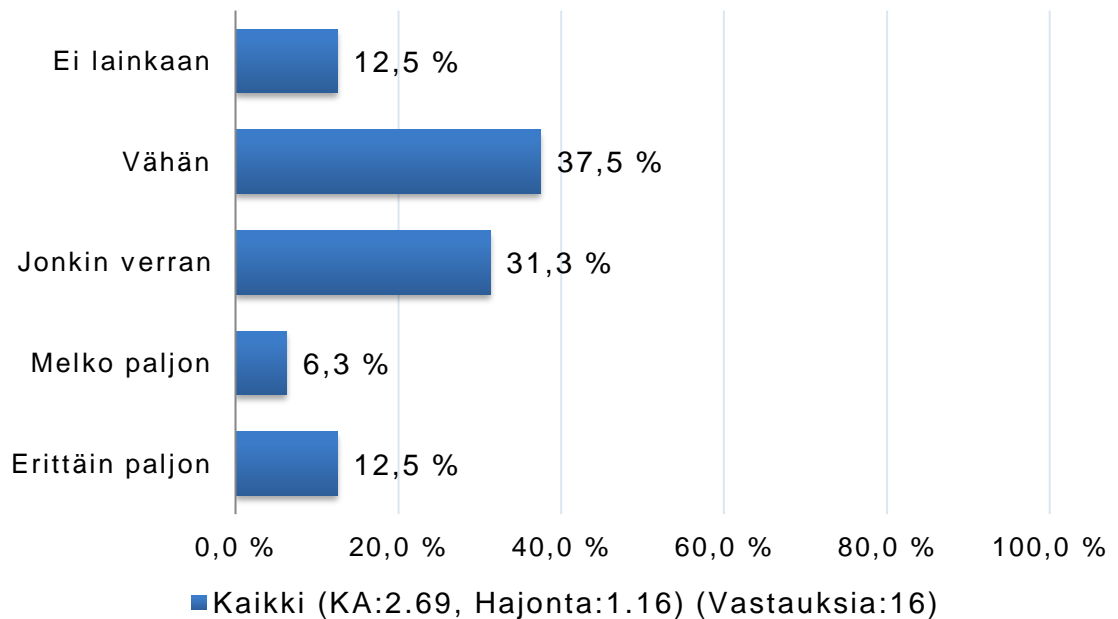
Toisten opettajien puhe, kun itse puhun



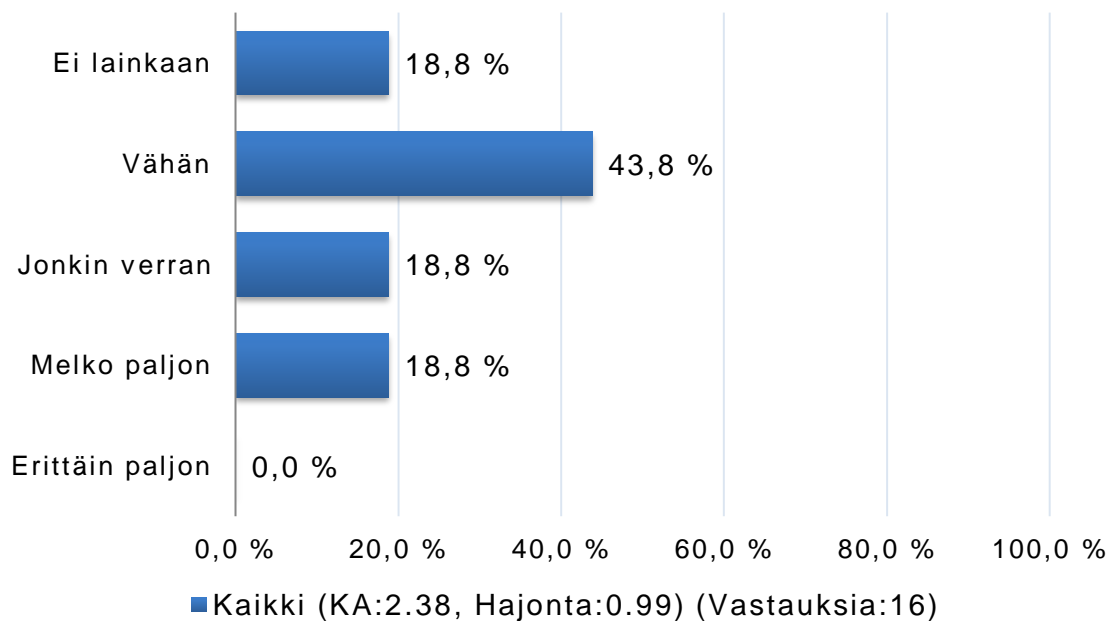
Muiden opetusryhmien oppilaiden puhe, kun itse puhun



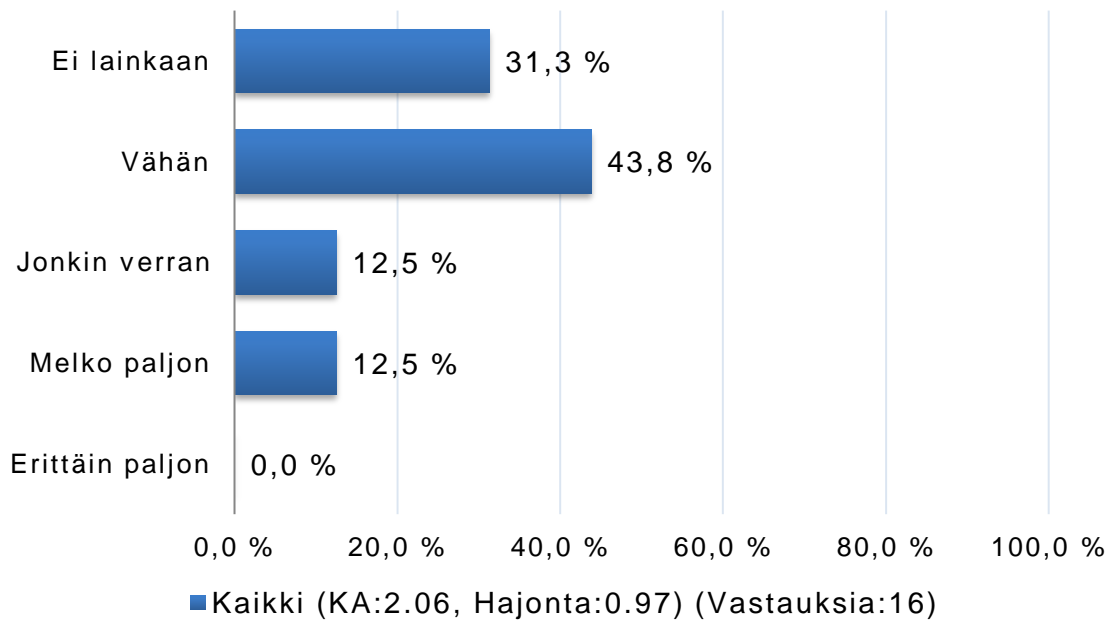
Muiden oppilaiden puhe, kun oma ryhmäni tekee keskittymistä vaativia tehtäviä



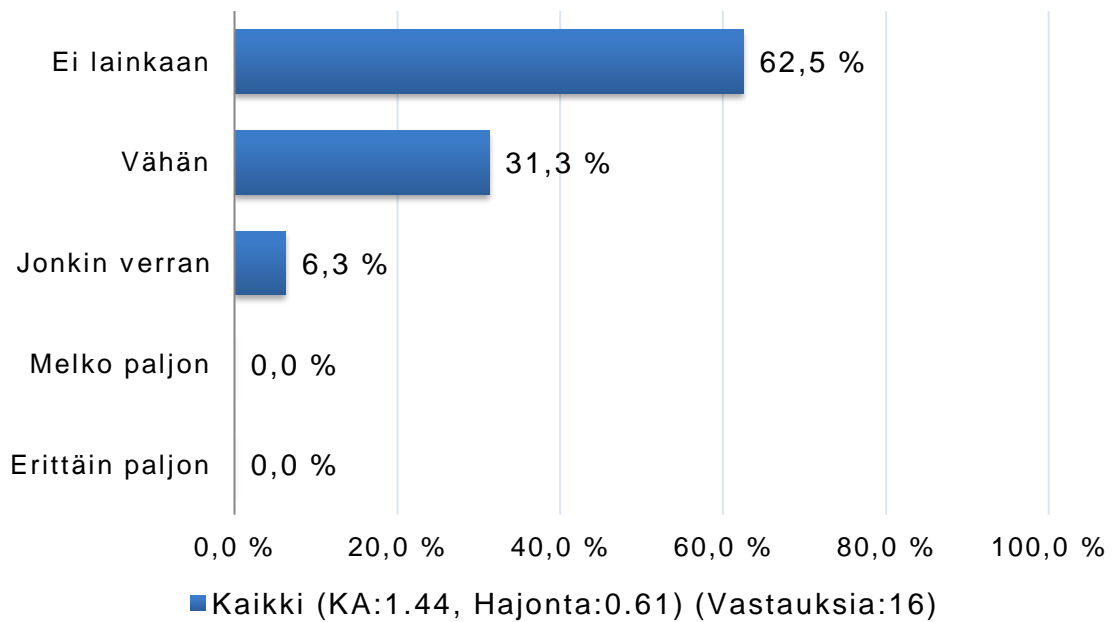
Muiden opettajien puhe, kun ryhmäni tekee keskittymistä vaativia tehtäviä



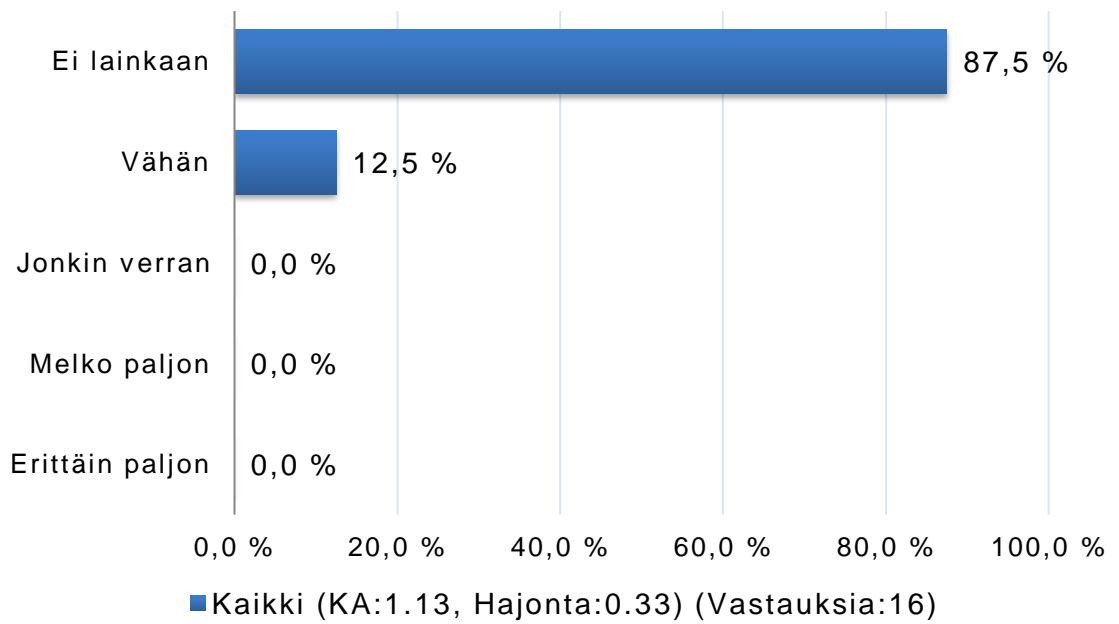
Oppilaiden ja muiden opettajien liikkuminen oppimisympäristössä



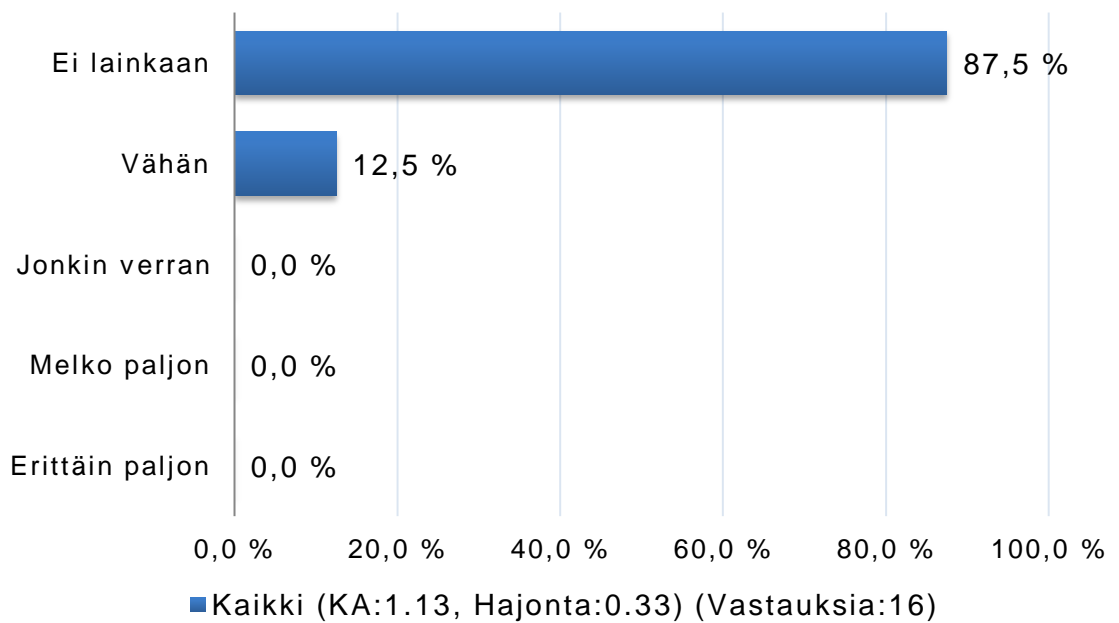
Epäjärjestys ja sotku



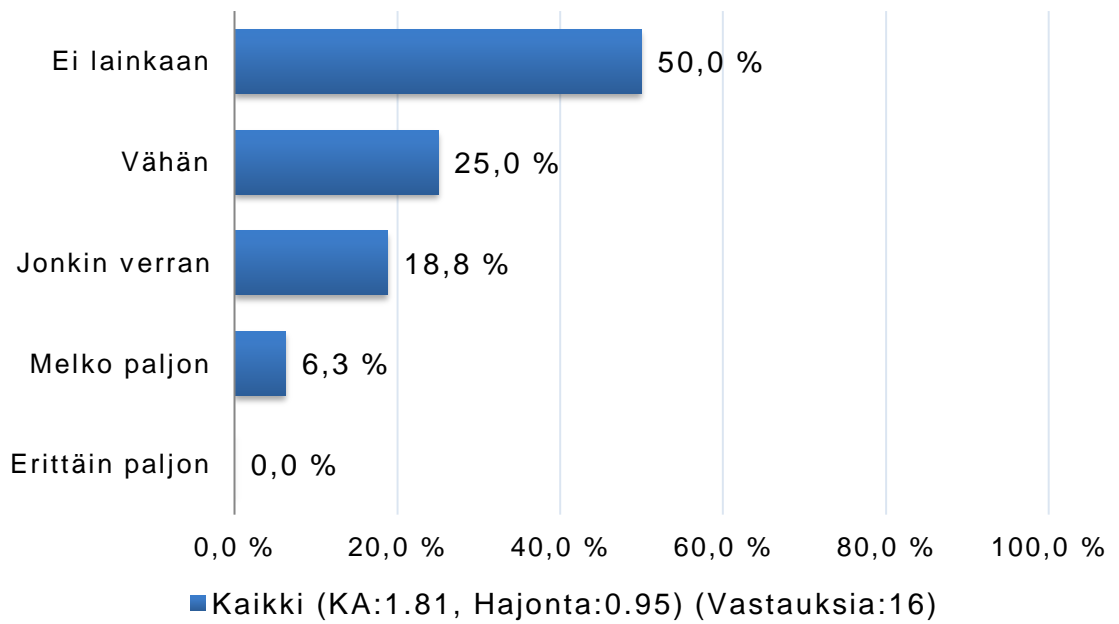
Hajut ja tuoksut



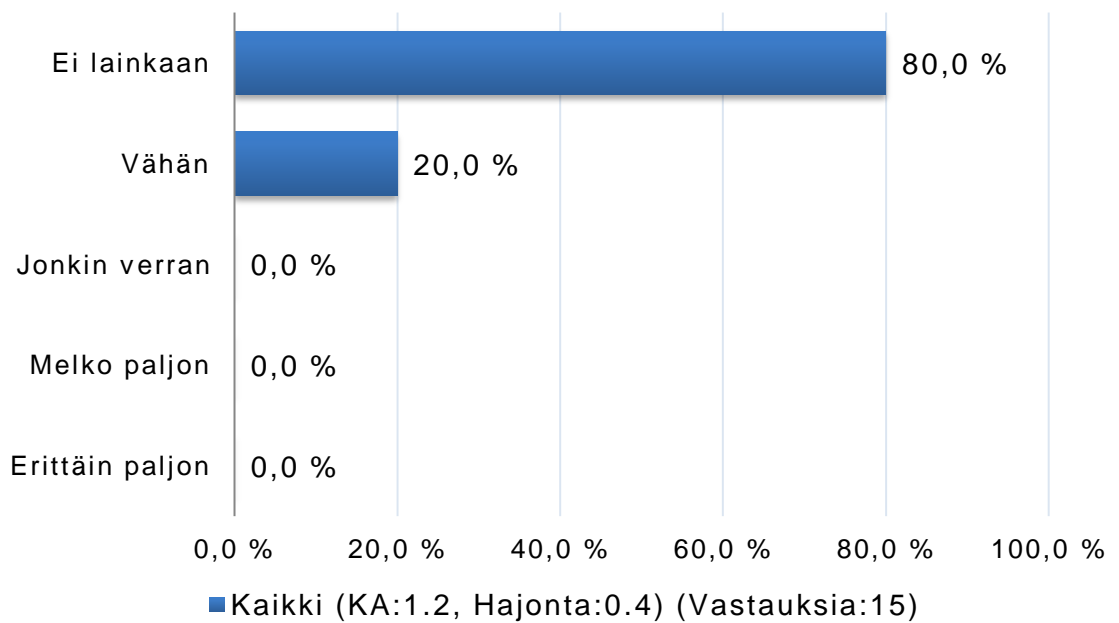
Huono sisäilma



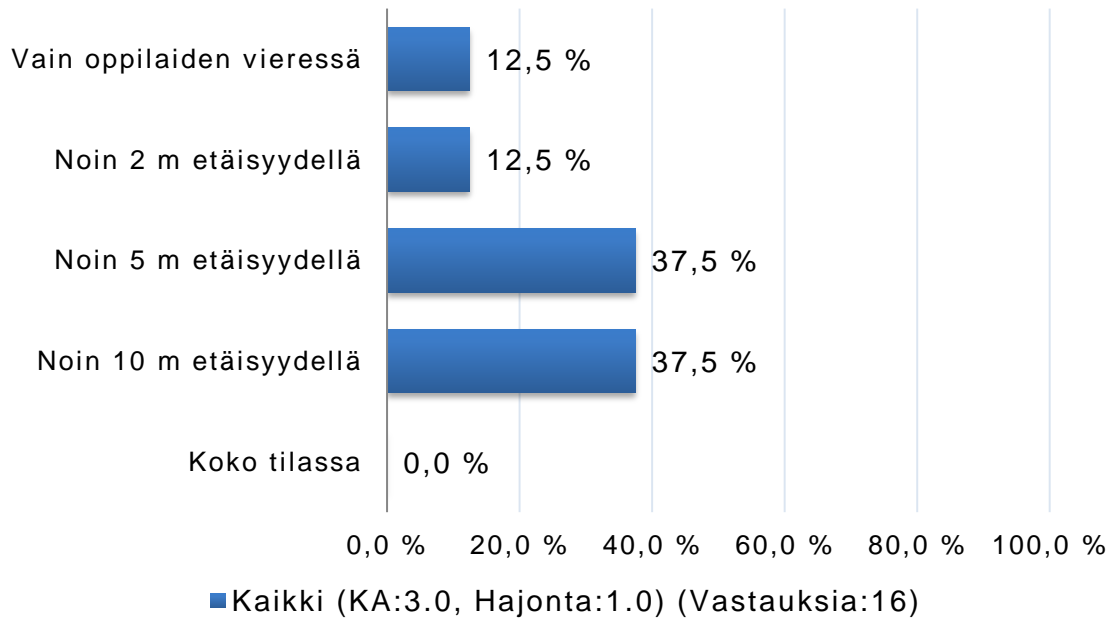
Liian korkea tai matala lämpötila



Riittämätön valaistus



4.3 Kuinka kaukana oppilaiden puheesta saa selvää, kun he puhuvat keskenään?



5. ÄÄNIYMPÄRISTÖN KEHITTÄMINEN

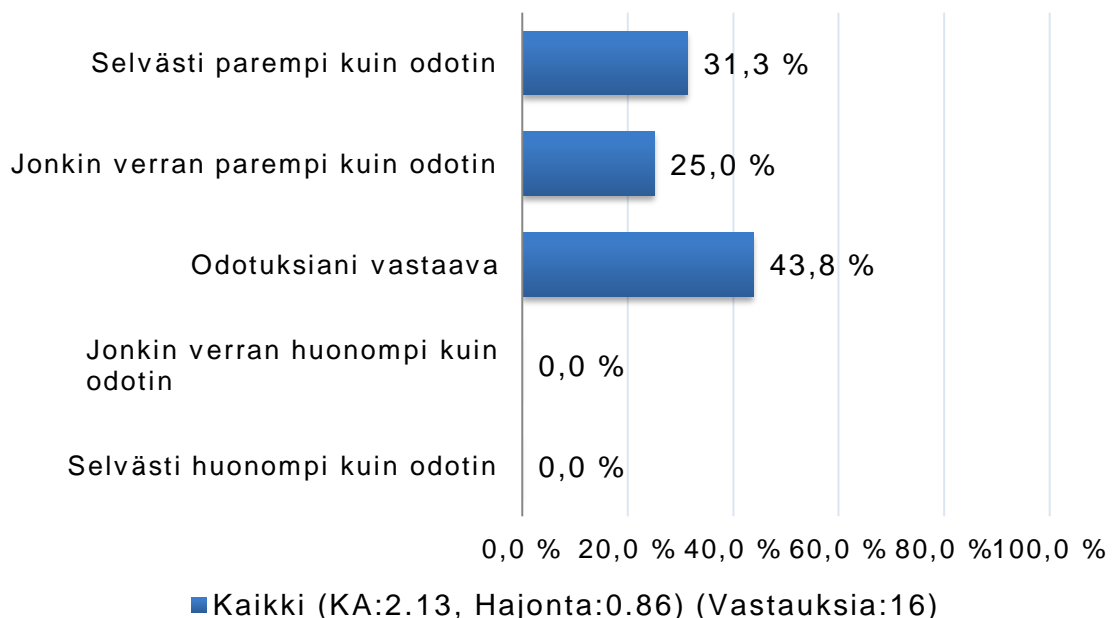
5.1 Millaisia muutoksia toivoisit oppimisympäristöön, jossa työskentelet (valitse yksi tai useampi vaihtoehto)?



5.1 Millaisia muutoksia toivoisit oppimisympäristöön, jossa työskentelet (valitse yksi tai useampi vaihtoehto)? – Jotain muuta, mitä

- Tarvitaan akustisia tilanjakajia, joita voi tarpeen vaatiessa vetää ääniä vähentämään. Esim. kerroksessamme eskareiden vanhemmat tulevat tuomaan ja hakemaan lapsensa "keskeltä oppimistilaa". Väliseinän voisi vetää eteen myös silloin, kun muut ryhmät pukeutuvat, koska naulakkomme eivät ole mitenkään eristetty opetustilasta, kuten muilla kerroksilla on. Tämä on huomattava epäkohta ja tuo turhaa melua. Tarvittaisiin myös väliseinä silloin, kun eskareilla on vapaata leikkiä (tosi paljon) ja koululaisten pitäisi opiskella
- Ääntä vaimentavia materiaaleja seiniin, vedettäviä ääntä eristäviä sermejä jakamaan esim. pukeutumistilaa toimintatilasta
- Ääntä vaimentavia materiaaleja seiniin, vedettäviä ääntä eristäviä sermejä jakamaan esim. pukeutumistilaa toimintatilasta
- Paljeovi tms. tilan hetkelliseen jakamiseen äänimaailman takia
- Mahdollisuutta siirtää opetusryhmä "perinteisempään luokkatilaan" edes hetkeksi, kun meno on levotonta ja keskittyminen puuttuu.

5.2 Jos vertaat käsityksiäsi koulutyöstä avoimessa oppimisympäristössä ennako-odotuksiisi, käsityksesi on niihin verrattuna nyt:



5.3 Mitä vielä haluaisit sanoa?

- Avoimet oppimisympäristöt ovat ihmisen pään sisällä. Puitteet eivät aina automaattisesti takaa tuloksia. Yli 60 lapsen ryhmä tarvitsee välillä myös rauhallista aikaa, jolloin lukea vaikka kirjaa. Mahdollisuus sulkea tiloja akustisilla väliseinillä tarvittaessa olisi äärimmäisen tärkeää.
- Avoimet oppimisympäristöt toimisivat, jos avoimien tilojen lisänä olisi selkeästi rajattuja ja äänieristetympiä tiloja keskittymistä tarvitseviin tehtäviin sekä oppilaille, joilla on vaikeutta keskittyä isommassa tilassa tai oppilasryhmässä. Opettajilla tulee olla myös erillinen työtila sekä neuvottelutila, jossa voi kohdata vanhempia tai yksittäistä oppilasta. Tiloissamme toimii nyt eskarit, ykköset ja kakkoiset. Eskareiden läsnäolo tuo haastetta tiloihin, koska vapaan leikin osuus tuo lisää äänimaailmaa avoimeen tilaan. Ympäristössä toimivat kodat eivät myöskään eristä ääntä niin kuin alun perin luultiin.
- Avoimet oppimisympäristöt toimisivat, jos avoimien tilojen lisänä olisi selkeästi rajattuja ja äänieristetympiä tiloja keskittymistä tarvitseviin tehtäviin sekä oppilaille, joilla on vaikeutta keskittyä isommassa tilassa tai oppilasryhmässä. Opettajilla tulee olla myös erillinen työtila sekä neuvottelutila, jossa voi kohdata vanhempia tai yksittäistä oppilasta. Tiloissamme toimii nyt eskarit, ykköset ja kakkoiset. Eskareiden läsnäolo tuo haastetta tiloihin, koska vapaan leikin osuus tuo lisää äänimaailmaa avoimeen tilaan. Ympäristössä toimivat kodat eivät myöskään eristä ääntä niin kuin alun perin luultiin.
- Sosiaalisesti on hienoa olla yksi yhteinen oppimisympäristö, keskittymisvaikeuksista kärsiville tulisi kuitenkin olla omia soppia.
- Opetusryhmäni ovat 7.-9. luokkalaisia. Äänentoistotoive on kaiuttimien kaipuu.
- Kun pääsee opettamaan ja työskentelemään lasten kanssa tilassa, jossa on huomioitu akustiikka, kalusteet ja niiden muutettavuus, ymmärtää täysin vasta, kuinka tärkeää se on; ja miten edellä mainituilla on suuri vaikutus oppimiseen.
- Meidän avoimessa oppimisympäristössä ei tänä vuonna työskentele kuin yksi ryhmä (2 luokkaa).
- Akustiikkaan pitäisi kiinnittää huomiota koko talossa, ei vain ns. luokkatiloissa. Käytävillä kaikuu! Valoja pitäisi voida säätää/itse ohjailta vielä enemmän.
- Siirtyminen avoimiin oppimisympäristöihin on ollut raskasta opettajalle ja varmasti myös osalle oppilaita. Työrauhan ylläpitäminen vaatii entistä enemmän työtä, melua on silti ja vilkkaampien oppilaiden on todella vaikea keskittyä annettuihin tehtäviin ja saada niitä valmiiksi. Jo pelkkä jatkuva pieni levottomuus ja melu stressaavat. Pidän uusista tiloista ja näen paljon positiivista tässä suunnassa, jonne koulumaailma on menossa, mutta siirtymävaihe on silti todella raskas!

LIITE H: MATKAPÄIVÄKIRJA VIERAILUISTA

**MATKAPÄIVÄKIRJA:
 FUTURE CLASSROOM LAB, BRYSSEL
 DE WERKPLAATS KINDERGEMEENSCHAP, UTRECHT
 20.09.2016 – 21.09.2016**

Diplomityön yhteydessä tehtiin kahden päivän opintomatka Brysseliin ja Utrechiin, joissa tutustuttiin oppimisympäristöjen ja avointen oppimisympäristöjen toimivuuteen ja kehitystarpeisiin. Ensimmäisenä päivänä tutustuttiin Brysselissä Future Classroom Labiin, joka on Euroopan kouluverkoston palvelu. Future Classroom Labissa esiteltiin opetusta edistäviä apuvälineitä sekä pidettiin kahdessa ryhmässä workshop-henkiset ajatus-tenjakotilaisuudet, joiden keskeisimmät ajatukset koottiin tilaisuuden lopussa yhteen. Mielestäni keskeisimpiä seikkoja avointen oppimisympäristöjen kannalta olivat seuraavat:

- Avoimuus oppimisympäristöissä ja samanlaiset opetusmenetelmät olisi syytä säilyttää ala-asteesta lukion loppuun asti. Yksi opettajista kertoi Britanniassa olevan yleistä, että alakoulut kehittyvät avoimiksi oppimisympäristöiksi ja yläkouluissa opetus yleensä on hyvin perinteistä ja tapahtuu luokkahuoneissa.
- Opettajat tulee perehdyttää oppimisympäristöjen laitteiden käyttöön.
- Aktiviteetti-/toimintapohjainen avointen oppimisympäristöjen suunnittelu on tunnistettu järkeväksi.
- Opetusmenetelmien sovituksessa avoimiin oppimisympäristöihin on ilmennyt ongelmia, samoin kommunikaatiossa. Hankalaksi koetaan myös sellaiset olosuhteet, joissa avoimissa oppimisympäristöissä ei ole näköyhteyttä.
- Avointen oppimisympäristöjen kustannukset on nostettu esille: johtuuko avointen oppimisympäristöjen kustannustehokkuus väliseiniä vähyydestä?
- Osittain avoimet oppimisympäristöt rakennetaan käytännössä luokkahuoneiksi. Avoin tilojen käyttö ei tule toimimaan osittain avoimissa oppimisympäristöissä.
- Oppimisen ja opettamisen tulisi olla merkityksellistä ja rohkeaa, eikä säännösten ohjailemaa.
- Valta avoimista oppimisympäristöistä koskevista päätöksistä tulisi olla ihmisillä, jotka todellisuudessa ovat tekemässä näiden tilojen kanssa.
- Britanniassa ja etenkin Lontoossa on ollut ongelmia tilan puutteesta koulujen rakentamisessa. Lisäksi hallitus on säätänyt sallittuja rakennusaloja pienemmiksi.

Kuvassa 1 on esitetty Future Classroom Labin demotila, jossa esiteltiin erilaisia opetuksen apuvälineitä kalusteista ohjelmistoihin. Akustiikan osuus välineistöstä oli sangen vähäistä; katossa kuitenkin roikkui muutamia akustiikkaelementtejä.



Kuva 1. Future Classroom Labin demotila, Bryssel.

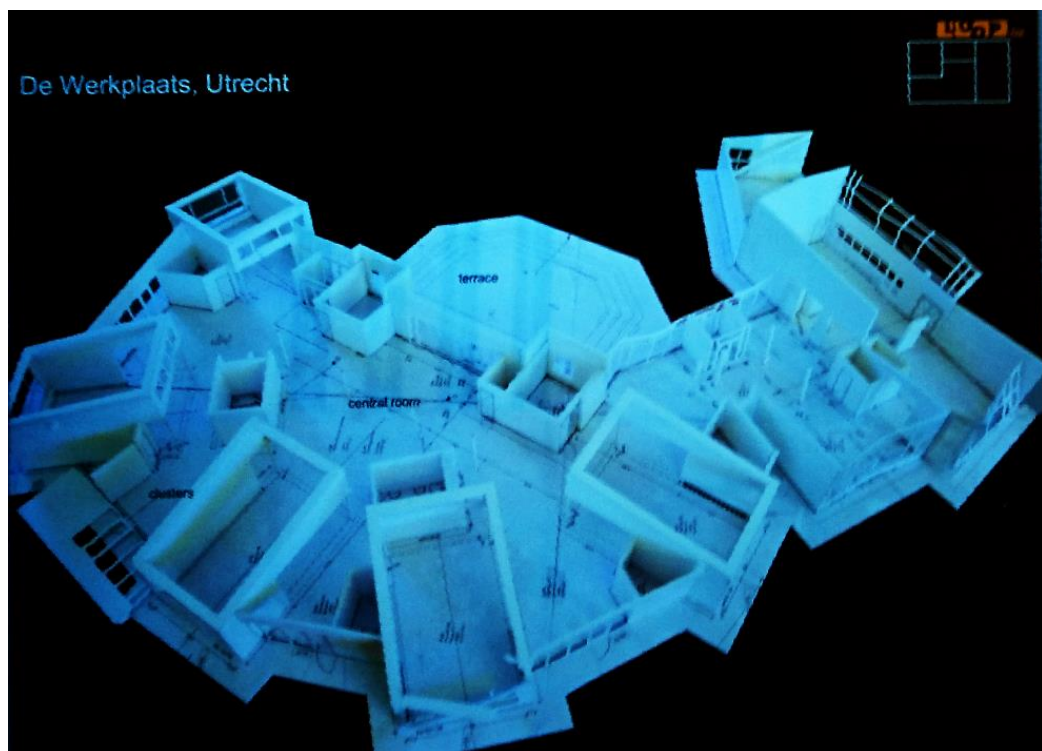
Diplomityön kannalta kiinnostava koulukohde sijaitsi Hollannin Utrechtissa, johon suunnattiin matkan toisena päivänä. Kohteessa oltiin perillä sopivasti koulupäivän aikana noin yhdeltä iltapäivällä. Kohteessa koulun rehtori Jeroen Goes kertoi koulun filosofiasta sekä historiasta, jonka jälkeen pääsimme haastattelemaan muutamia tauolla olleita opettajia. Rehtori kertoi koulun suunnitteluvaiheessa päätetyksi oppimisympäristön avoimuudesta. Tällöin oli mietitty sitä, tulisiko oppimisympäristön olla täysin avoin vai osittain avoin. Osittain avoimuus oli kuitenkin ajatuksena hylätty, sillä pelättiin, että siirryttäisiin takaisin luokkahuoneiden opetusmalleihin eikä tilojen avoimuutta käytettäisi hyväksi parhaalla mahdollisella tavalla. Niinpä tiloja ja opetusmallia lähdettiin rakentamaan täysin avoimen oppimisympäristön ajatusmaailman ympärille. Koulun opetushenkilökunnaksi valittiin opettajia, jotka olivat kiinnostuneita työskentelystä avoimessa oppimisympäristössä. Tilojen akustiikka ei ensimmäisellä yrityksellä täysin onnistunut, vaan sitä on paranneltu ajan myötä pääosin lisäämällä absorptiomateriaaleja.

Koulu oli täysin avoin. Siinä opiskeli 8–9 luokkaa opettajineen. Kaikki opetustilat sijaitsivat yhden käytävän varrella, joka oli pohjamuodoltaan ympyrän kaari. Tilat olivat sitä avoimempia, mitä vanhempia oppilaita niissä opiskeli. Oppilaat opiskelivat pääosin omien opetusryhmiensä alueilla, vaikka tila olikin täysin avoin. Poikkeuksiakin oli, sillä esimerkiksi tarkkaavuushäiriöisten oppilaiden oli mahdollista käydä rauhoittumassa valvotusti jossain muussa tilassa tai ulkona. Piha-alueella oli pieni kotieläinalue, jossa oppilaat saattoivat hoitaa opintojensa ohella eläimiä.

Avoimessa oppimisympäristössä oli paljon erilaisia esineitä ja objekteja, joilla luotiin myös yksityisyyden tuntua. Alakatto oli akustiikkalevytettyä. Opettajat ja oppilaat osasivat selkeästi käyttää tilaa ja ääntään, sillä äänenkäyttö oli maltillista eikä varsinaista häiriökäyttäytymistä ollut havaittavissa noin tunnin tarkkailun aikana. Yllättävintä oli, että

vaikka oppilaita oli tilassa paljon ja tila itsessään oli hyvin avonainen, taustäänitaso säilyi ajan suhteen varsin vakiona. Keskimääräiseksi taustäänitasoksi $L_{A,eq,B}$ arvioitiin noin 50 dB. Tunnin tilassa oleskelun aikana tämä taustäänitaso ei häirinnyt, mutta on mahdollista, että pidemmän altistumisen yhteydessä voisi ilmetä ongelmia keskittymisessä tai äänenkäytössä.

Ehdin haastatella yhtä opettajaa, joka kertoi muun muassa, että koulun opettajille suositellaan puheterapiaa opetustyön ja äänenkäytön tukemiseksi. Yleisesti ottaen puheterapia oli koettu hyödylliseksi. Opettajien haastattelussa kävi ilmi, että he eivät haluaisi palata enää opettamaan perinteisiin oppimisympäristöihin. Tämä kertoo puolestaan siitä, että nykyisissä ratkaisuissa on ainakin jossain määrin onnistuttu. Opettajat kertoivat tilanjakajien osalta, että he haluavat niiden olevan matalia, jolloin oppilaiden tarkkailu on mahdollista. Tilassa oli myös muutamia yksityisen työskentelyn alueita, joiden osalta mietin, että tilan taustäänitaso voi olla turhan suuri tällaista työskentelyä varten sijainneissa, jossa ne olivat. Tilan muotoja hahmottava pienoismalli on esitetty kuvassa 2. Eri opetusryhmien alueet on esitetty ”karsinoina”. Näiden karsinoiden väliset alueetkin olivat kuitenkin käytössä. Lisäksi pienoismallissakin nähtävä suurempi avoin tila tämän puoliympyrän muotoisen tilan keskellä on kuvattuna paikan päältä kuvissa 3 ja 4.



Kuva 2. De Werkplaatsin koulun pienoismalli. Opetusryhmien alueet on esitetty ”karsinoina”.



Kuva 3. De Werkplaatsin koulun sisätilan suurempi avoin alue. Opetusryhmien väliset rajat näkyvät ulkoseinästä hieman sisäänpäin ulottuvina väliseinäinä.



Kuva 4. Suurempi avoin alue kuvattuna käytävän puoleisesta päädyistä.