

OPETUSTILOJEN HUONEAKUSTIIKKA – PALUU JUURILLE

Mikko Kylliäinen¹ ja Ilkka Valovirta²

¹ Tampereen teknillinen yliopisto
Rakennustekniikan laitos
PL 600, 33101 TAMPERE
mikko.kylliainen@tut.fi

² Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy
Pinninkatu 58 A, 33100 TAMPERE
ilkka.valovirta@helimaki.fi

1 JOHDANTO

Suomessa oppilaitosten ääniolosuhteiden kokemista koskevia tutkimuksia on tehty pääosin opettajien näkökulmasta: on haastateltu opettajia ja rehtoreita tai tutkittu opettajia lääketieteellisesti. Tuoreiden tutkimusten mukaan oppilaitoksissa näyttää olevan varsin paljon akustisia ongelmia. Peruskoulujen rehtoreille tehdyn kyselyn mukaan melu ja kaiku aiheuttavat koulutyölle vähintään jonkin verran haittaa 85 % kouluista. Neljänneksessä kouluista haittaa esiintyi melko paljon tai erittäin paljon [1]. Opettajien äänenkäyttöä ja siinä esiintyneitä ongelmia koskeneessa tutkimuksessa 63 % haastatelluista opettajista arvioi itse kärsivänsä äänenkäytön ongelmista usein. Kun haastatellut opettajat tutkittiin, voitiin lääketieteellisesti havaita oireita äänihuulissa tai kurkunpäässä 51 % opettajilla [2].

Parhailtaan opetusmenetelmien kehittämisestä kouluopetuksessa käydään keskustelua, jonka yksi osa on kysymys siitä, miten opetustilassa saadaan aikaan mahdollisimman hyvät ääniolosuhteet. Opetusmenetelmissä tapahtuneen tai mahdollisesti tulevaisuudessa tapahtuvan muutoksen perusteella on esitetty, että opetustilojen jälkikaiunta-aikasuosituksia tulisi lyhentää ja absorption määrää lisätä. Artikkelin tarkoituksena on selvittää, millaisia ohjeita opetustilojen huoneakustiikan suunnittelusta eri aikoina on annettu ja pohtia sitä, ovatko opetusmenetelmien muutokset sellaisia, että ne johtaisivat muunlaiseen perusratkaisuun kuin perinteiset peruskriteerit: oppilaiden on voitava kuulla opettajan puhe riittävän selvänä ja opettajan puolestaan on saatava puhua ääntään liiaksi rasittamatta.

2 POIMINTOJA NYKYTUTKIMUKSESTA

2.1 Melun vähentäminen

Tutkimuksissa melu ja kaiku on todettu koulutyötä haittaaviksi tekijöiksi [1], joten johdonmukainen ratkaisu ongelman vähentämiseksi olisi tällöin melun vaimentaminen lisäämällä absorboivia pintoja. Niinpä joissakin tutkimuksissa [esim. 3–4] on päädytty suositteluun jälkikaiunta-ajan lyhentämistä, toisin sanoen absorptioalan lisäämistä. Tällöin absorboivia pintoja on sijoitettu sekä koko katon alalle että takaseinälle. Ratkaisua on perusteltu sillä, että tällöin taustäänitaso sekä opettajalta vaadittava äänenvoimakkuus laskevat.

2.2 Äänentoisto

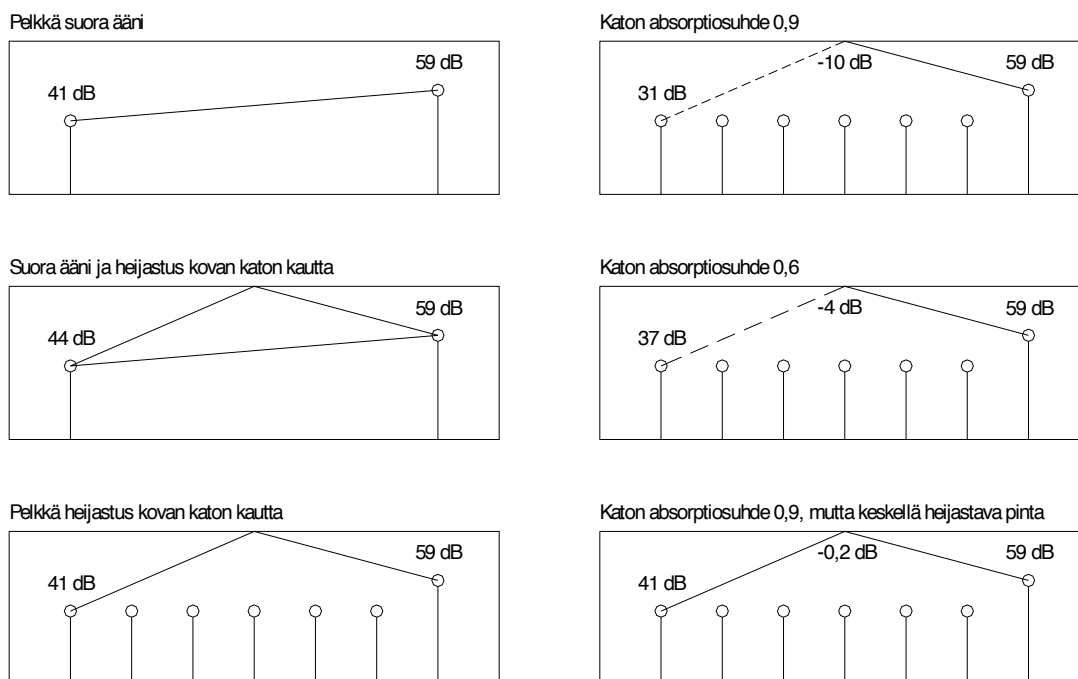
Opettajan äänenkäyttöongelmia on esitetty ratkaistavaksi myös toista kautta: tekemällä opetustilaan äänentoistojärjestelmä, jonka kautta opettaja puhuu. Haastatteleamalla opettajia, jotka ovat samassa opetustilassa pitäneet tuntejaan ilman äänentoistoa ja äänentoiston kautta, on

päädytty tulokseen, jonka mukaan opettajan ääni rasittuu vähemmän äänentoistoa käytettäessä. Tähän ratkaisuun liittyy kuitenkin ongelmia: järjestelmän mennessä epäkuuntoon opettaja joutuu korottamaan ääntään ja toisaalta järjestelmien käytettävyys ei ole aina hyvä [5].

2.3 Aikaisten heijastusten merkitys

Puheen erotettavuus riippuu monesta asiasta, joista tärkeitä ovat jälkikaiunta-aika ja signaalikohinasuhde eli puheäänien äänenpainetaso ja taustäänitaso. Jos puheen erotettavuutta arvioidaan pelkästään huoneakustisten mittasuureiden, kuten puheensiirtoindeksin STI avulla, tulos paranee sitä enemmän, mitä pienemmäksi jälkikaiunta-aika säädetään. Teoreettisesti parhaaseen tulokseen päästäisiin siten kaiuttomassa huoneessa, kun ääni kulkee vain suoraan puhujalta kuulijalle. Tässä ajattelutavassa on kuitenkin muutamia ongelmia [6]. Ensinnäkin opetustilassa suora äänen kulkureitti varsinkin tilan takaosiin voi olla estetty, koska edessä istuvat oppilaat toimivat takana istuvien kannalta seinäkkeinä (kuva 1). Toisaalta puheen suunta ei opetustilanteessa ole vakio, vaan se vaihtelee. Tästäkin syystä äänen suora kulkureitti voi katketa, jolloin kuuluvuus onkin kokonaan heijastusten varassa [7].

Viimeaikaisissa tutkimuksissa on korostettu aikaisten heijastusten merkitystä ensisijaisena suunnittelukriteerinä. Huoneakustiikaltaan optimaalinen opetustila saadaan tutkimusten mukaan aikaan, kun taustäänitaso on riittävän alhainen ($L_{A,eq} \leq 35$ dB) ja tilan absorboivat pinnat on suunniteltu niin, että nopeita heijastuksia syntyy, mutta tilassa on kuitenkin riittävä määrä absorptiota, joilla myöhäiset heijastukset saadaan vaimennetuksi [8]. Hieman kaiuntainen opetustila on puheen erotettavuuden kannalta todettu paremmaksi kuin opetustila, jossa absorption määrää lisäämällä on pyritty mahdollisimman lyhyeen jälkikaiunta-aikaan ja vaimennettu samalla nopeat heijastukset. Sopivaksi jälkikaiunta-ajaksi on arvioitu 0,5...0,7 s. [9].



Kuva 1. Äänen kulku opetustilassa. Puheen erotettavuuden kannalta tärkeitä ovat aikaiset heijastukset, etenkin jos äänen suoralla kulkureitillä on esteitä (vasemmalla). Jos heijastus estetään sijoittamalla koko katon alalle tehokkaasti ääntä absorboivaa materiaalia, puheen äänenpainetaso voi laskea jopa määräysten mukaisen taustäänitason 33 dB alle (oikealla ylhäällä).

3 POIMINTOJA VUOSIKYMMENTEN VARRELTA

3.1 Oppikirjat ja suunnitteluohjeet

Jokapäiväinen suunnittelutyö ei voi perustua siihen, että tietoa suunnittelun pohjaksi on etsittävä tieteellisistä artikkeleista, vaan suunnittelussa tarvittavan tiedon pitää löytyä käsikirjoista, suunnitteluohjeista ja –määräyksistä tai oppikirjoista. Suomessa opetustilojen ja puhesalien huoneakustiikkaa käsitteleviä ohjeita on julkaistu useiden vuosikymmenien ajan. Ensimmäinen suomenkielinen akustiikkaa käsittelevä oppikirja, Paavo Arnin *Käytännöllisen akustiikan perusteet*, ilmestyi vuonna 1949 [10]. Puhesalien suunnittelua varten Arni antoi ohjeeksi, että ”... on huolehdittava siitä, että mahdollisimman paljon ääntä lankeaa mahdollisimman pian kuuntelijalle ja siitä, että äänienergia jakaantuu mahdollisimman tasaisesti”. T. K. Laakso neuvoo samasta syystä jakamaan opetustilan kattopinta-alan puoliksi siten, että katon keski-osaan sijoitetaan heijastavaa ja reunoille tehokkaasti absorboivaa materiaalia [11].

Suomen itsenäisyyden juhluvuoden rahasto SITRA rahoitti 1960-luvun lopulla ja 1970-luvun alussa koulurakennusten kehittämistä koskeneen tutkimusohjelman, jossa selvitettiin myös koulujen akustisia suunnitteluperiaatteita. Vuonna 1974 julkaistussa raportissa Alpo Halme totesi, että pinta-alaltaan noin 60 m² perusopetustilassa ”on edullista, jos huoneen pinnoista saadaan nopeita heijastuksia puhujalta kuulijalle”. Absorboivat pinnat hän neuvoi sijoittamaan katon reunaosiin, seinien yläosiin ja peräseinälle [12]. Samaan tapaan opetustilan huoneakustiikan ohjeisti suunnittelemaan myös Opetushallituksen vuonna 1994 julkaisema suunnitteluopas. Oppaassa lisäksi varoitettiin suunnittelemaasta jälkikaiunta-aikaa liian lyhyeksi [13]: ”Liian lyhyt jälkikaiunta-aika merkitsee suurta huoneabsorptiota, jolloin tarvitaan suuri puheen voimakkuus riittävän kuuluvuuden saavuttamiseksi.” Myös viimeisen vuosikymmenen aikana julkaistut suunnitteluohjeet korostavat aikaisten heijastusten merkitystä ja opetustilan kattoon sijoitettavan heijastavan pinnan merkitystä puheen erotettavuuden kannalta [14–15].

Eri vuosikymmeninä julkaistut koulurakennusten akustiikkasuunnittelua koskevat ohjeet ovat yhtä mieltä siitä, että opettajan puheen kuuluvuuden kannalta aikaiset heijastukset ovat keskeisessä asemassa, minkä johdosta opetustilan kattoon on järjestettävä ääntä heijastava pinta. Tarvittava absorptio, joka määräytyy tavoiteltavan jälkikaiunta-ajan (taulukko 1) perusteella, sijoitetaan paikkoihin, joista hyödyllisiä heijastuksia ei saada.

Taulukko 1. Eri aikojen käsikirjoissa ja suunnitteluohjeissa esitettyjä jälkikaiunta-aikoja.

Kirjoittaja tai lähde	Vuosi	T [s]
Paavo Arni	1949	0,6...0,8 s
T. K. Laakso	1963	0,65...0,7 s
Alpo Halme	1974	0,6...0,7 s
Juhani Parmanen et al.	1994	0,6...0,8 s
SFS 5907	2004	0,5...0,8 s
Mikko Kylliäinen et al.	2007	0,5...0,8 s

3.2 Esimerkki vanhan koulun akustiikkasuunnittelusta

Suuri osa akustiikkasuunnittelijan päivittäisestä työstä on nykyään osallistumista julkisten rakennushankkeiden peruskorjausten suunnitteluun. Tyypillinen suunnittelukohde lienee oppilaitos, joka on rakennettu joskus vuosien 1880 ja 1980 välillä. Akustiikkaan erikoistunut suunnittelijakunta syntyi Suomessa 1930-luvulla [16–17], ja viimeistään 1940-luvulla akus-

tiikkasuunnittelijoita käytettiin oppilaitosten rakennushankkeissa. Esimerkki tällaisesta koulu-
rakennuksesta on Hämeenkadun koulu Hyvinkäällä. Koulun peruskorjaushankkeessa akus-
tiikkasuunnittelijana on toiminut Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy, mutta akustiikka-
suunnittelija osallistui hankkeeseen myös vuonna 1949, kun uudisrakennusta suunniteltiin.

Hämeenkadun koulun kivirakennus on valmistunut vuonna 1950. Koulun ovat suunnitelleet
arkkitehdit Risto-Veikko Luukkonen ja Aarne Hytönen, ja koulu edustaa tyypillistä aikansa
kouluarkkitehtuuria (kuva 2): koulu muodostuu kahdesta toisiaan vastaan kohtisuorassa ole-
vasta siivestä, joista toiseen on sijoitettu luokkahuoneet keskikäytävän molemmin puolin, ja
toisessa ovat juhla- ja voimistelusalit sekä painisali, josta sittemmin on tehty musiikkiluokka.
Siipiä yhdistää matalampi osa, jossa on koulun keskusaula.



Kuva 2. Hämeenkadun koulu Hyvinkäällä.



Kuva 3. Opetustilan alkuperäinen huoneakustinen ratkaisu Hämeenkadun koulussa.

Luukkonen ja Hytönen olivat jo 1930-luvulla käyttäneet akustiikan asiantuntijoita suunnitelukohteissaan [18–19]. Niinpä myös Hämeenkadun koulun suunnitteluun osallistui akustiikan asiantuntija, Paavo Arni. Hänen suunnitelmansa koski välipohjien, väliseiniä ja ovien ääneneristystä ja rakennetta, opetustilojen ilmastointikanavien kautta kulkevien äänien eristämistä äänisulkurakenteilla sekä huoneakustiikkaa [20]. Opetustilojen huoneakustiikka oli suunniteltu siten, että rei'itetty ”akustiikkalaattaa” sijoitettiin katon etuosaan sekä reunoille noin puolelle katon alasta. Katon keskiosan Arni neuvoi jättämään heijastavaksi. Lisäksi opetustilan takaseinä kalliistettiin 24° kulmaan, millä estettiin tärykaiun syntyminen (kuva 3).

4 VERTAILUJA NYKYTILANTEeseen

Kun vuosina 1880–1980 rakennettuja kouluja on suunniteltu, lienee tyypillisin opetusmetodi ollut se, että opettaja on puhunut luokan etuosassa, kirjoittanut liitutaululle ja kysellyt oppilailta, jotka ovat vastanneet kysymyksiin. Tärkeää luokkahuoneen akustiikan kannalta on ollut se, että opettajan puheen kuuluvuus on ollut hyvä, toisaalta taas oppilaiden vastausten on pitänyt olla kuultavissa sekä opettajalle että muille oppilaille. Tätä on edesauttanut vanhimmissa kouluissa se, että luokan etuosassa on ollut koroke. Samoin oppilaat ovat vastatessaan nousseet seisomaan, mikä on parantanut kuuluvuutta. Kaiuntaa vanhimmissa kouluissa on ollut puheen erotettavuuden kannalta liikaa, mutta 1940-luvulta saakka siihenkin on kiinnitetty huomiota. Enää oppilaat eivät nouse vastatessaan, eikä opetustiloihin voida esteettömyysvaatimusten vuoksi tehdä korokkeita. Ainakin tämä asia on muuttunut, mutta onko varsinainen opetustapa muuttunut?

Oppilaitosten ääniolosuhteita koskevia tutkimuksia on tehty pääasiassa opettajien näkökulmasta. Oppilaiden näkökulmasta oppilaitosten ääniolosuhteita on tutkittu varsin vähän, mikä johtuu osittain siitäkin, että pienimmät oppilaat eivät vielä voi monimutkaisia kyselylomakkeita täyttää. Vuonna 2007 valmistuneessa Olli Paajasen diplomityössä [21] on tehty kyselyjä yläasteen oppilaille. Niissä kysyttiin muun muassa sitä, millaisia opetusmenetelmiä opettajat käyttävät. Vastausten mukaan

- eniten opettajat puhuvat perinteiseen tapaan luokan edestä,
- toiseksi eniten työskennellään itsenäisesti erilaisten tehtävien parissa ja
- vähiten tehdään pari- tai ryhmätöitä.

Tutkimustulokset, joihin kohdassa 2.3 viitattiin, perustuvat perinteiseen opetustapaan, vaikka ovatkin uusia. Kyselytutkimuksen tulosten perusteella näyttää siltä, että opetusmenetelmissä ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. Toisaalta voidaan todeta, että nykytutkimuksen hyväksi toteama, jo vuosikymmeniä suositeltu huoneakustinen ratkaisu ei estä esimerkiksi ryhmätöiden tekemistä tai opettajan puhumista luokan eri osista koko opetusryhmälle.

5 YHTEENVETO

Opetustilojen huoneakustiikkaa koskevat tutkimustulokset ja eri vuosikymmeninä annetut ohjeet opetustilojen suunnittelusta ovat yksimielisiä siitä, miten opetustilan huoneakustinen ratkaisu tulisi tehdä. Lisäksi vaikuttaa siltä, että toistaiseksi opetusmenetelmissä ei ole ilmennyt mitään sellaista muutosta, joka antaisi erityistä aiheutta muuttaa jo vuosikymmeniä vallinnutta tapaa suunnitella opetustilojen huoneakustiikka. Opetustilan huoneakustiikan suunnittelussa aikaisten heijastusten merkitys on suuri, samoin jälkikaiunta-ajan. Näiden kahden asian yhteensovittamiseksi oleellista on se, miten sopivan jälkikaiunta-ajan saavuttamiseksi tarvittavat absorboivat pinnat sijoitetaan: kattoon on järjestettävä pinta, joka heijastaa ääntä koko opetustilan alueelle. Absorptio sijoitetaan kohtiin, joista hyödyllisiä heijastuksia ei saada.

VIITTEET

1. RIMPELÄ M, RIGOFF A-M, KUUSELA J & PELTONEN H (toim.), *Hyvinvoinnin ja terveyden edistäminen peruskouluissa – perusraportti kyselyistä 7.–9. vuosiluokkien kouluille*. Opetushallitus ja Stakes, Helsinki 2007.
2. ILOMÄKI I, *Opettajien ääneen liittyvä työhyvinvointi ja äänikoulutuksen vaikutukset*. Väitöskirja. Tampereen yliopisto, Acta Universitas Tampereensis 1373, Tampere 2008.
3. TIESLER G & OBERDÖRSTER M, Noise – a stress factor? Acoustic ergonomics of schools. *Euronoise 2006*, 30.5.–1.6., Tampere.
4. SCHÖNWÄLDER H-G, BERNDT J, STRÖVER F & TIESLER G, *Lärm in Bildungstätten – Ursachen und Minderung*. Schriftenreihe für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Berlin 2004.
5. JONSDOTTIR V I, Benefits of using amplification in ordinary classroom – changes in male teachers' speech during a working day with and without amplification. *Euronoise 2009*, 26.-28.10., Edinburgh.
6. HODGSON M & NOSAL E-M, Effect of noise and occupancy on optimal reverberation times for speech intelligibility in classrooms. *Journal of the Acoustical Society of America* **111**(2002), 932–939.
7. YANG W & BRADLEY J S, Effects of room acoustics on the intelligibility of speech in classrooms for young children. *Journal of the Acoustical Society of America* **125**(2009), 922–933.
8. BRADLEY J S & SATO H, On the importance of early reflections for speech in rooms. *Journal of the Acoustical Society of America* **113**(2009), 3233–3244.
9. BRADLEY J S, a new look at acoustical criteria for classrooms. *Internoise 2009*, 23.-26.8., Ottawa.
10. ARNI P, *Käytännöllisen akustiikan perusteet*. Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki 1949.
11. LAAKSO T K, Saliakustiikka. *Akustinen Aikakauslehti* **3–4**(1963), 7–18.
12. HALME A, *Koulujen rakennus- ja huoneakustiikka*. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennus- ja yhdyskuntatalouden laboratorio, tiedonanto 21, Espoo 1974.
13. PARMANEN J et al, *Koulujen akustinen suunnitteluopas*. Opetushallitus, Helsinki 1994.
14. SFS 5907, *Rakennusten akustinen luokitus*. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki 2004.
15. KYLLIÄINEN M, HONGISTO V & HELIMÄKI H, *Rakennusten akustinen suunnittelu: oppilaitokset, auditoriot, liikuntatilat ja kirjastot*. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RIL 243-2-2007, Helsinki 2007.
16. KYLLIÄINEN M, Tämä akustiikka on niin uutta! *Akustiikkapäivät 2009*, 14.–15.5.2009, Vaasa, 36–41.
17. KYLLIÄINEN M, Kansainväliset yhteydet vuoden 1967 ääneneristysnormien muotoutumisessa. *Tekniikan Waiheita* **3**(2009), 29–47.
18. HYTÖNEN A & LUUKKONEN R-V, Messuhalli – ensimmäinen rakennusvaihe. *Arkkitehti* 1935, 121–126.
19. HYTÖNEN A & LUUKKONEN R-V, Keskinäisen Vakuutusyhtiö Suomen uutisrakennus ja toimitalon muutostyö. *Arkkitehti* 1939, s. 103–113.
20. ARNI P, Hämeenkadun kansakoulun akustisten rakennelmien työselitykset 14.3.1949. Hyvinkään kaupungin tilapalvelun arkisto.
21. PAAJANEN O, Opetustilojen huoneakustiikan parantaminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto, Espoo 2007.