

# ÄÄNIOLOSUHTEIDEN KUSTANNUSVAIKUTUKSET AVOTOIMISTOISSA

**Joni Kemppainen<sup>1</sup>, Mikko Kylliäinen<sup>2</sup>, Henry Niemi<sup>2</sup>, Antti Mikkilä<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> A-Insinöörit  
Bertel Jungin aukio 9  
02600 Espoo  
[joni.m.kemppainen@ains.fi](mailto:joni.m.kemppainen@ains.fi)

<sup>2</sup> A-Insinöörit  
Puutarhakatu 10  
33210 Tampere  
[etunimi.sukunimi@ains.fi](mailto:etunimi.sukunimi@ains.fi)

## Tiivistelmä

Rakennusalan kustannustarkasteluissa otetaan huomioon rakennuskustannukset, käyttökustannukset ja elinkaarikustannukset. Käytön aikana syntyy myös kustannuksia, joita yleensä ei oteta huomioon, kuten epätarkoituksenmukaisesta akustiikasta seuraava työajan hukka avotoimistoissa. Tutkimuskirjallisuuden perusteella tunnetaan ratkaisut, joiden mukaan avotoimistot tulee suunnitella akustisesti ja toiminnallisesti. Tutkimuskirjallisuudessa on esitetty myös arvioita työajan hukasta. Tässä tutkimuksessa arvioitiin case-tapauksena 170 työpisteen avotoimistoa, josta laadittiin akustisesti tarkoituksenmukainen sekä vähimmäisvaatimukset täyttävä suunnitelma, joiden rakennuskustannukset laskettiin. Avotoimiston huoneakustiset ominaisuudet määritettiin huoneakustisella tietokonemallinnuksella ja työajan hukasta aiheutuvat kustannukset tutkimuskirjallisuuden avulla. Tulokset osoittavat, että akustisesti tarkoituksenmukaisen avotoimiston rakennuskustannukset ovat kaksinkertaiset minimivaatimukset täyttävään nähden. Työajan hukka johtaa kuitenkin siihen, että alle vuodessa akustisesti tarkoituksenmukainen avotoimisto on jo minimivaatimukset täyttävää edullisempi. Viidessä vuodessa vähimmäisvaatimukset täyttävän avotoimiston aiheuttama kokonaiskustannuskertymä on 2,5-kertainen tarkoituksenmukaiseen verrattuna ja pelkästään työajan hukasta syntyvä kustannuskertymä kuusinkertainen.

## 1 JOHDANTO

Rakennusalan kustannustarkasteluissa otetaan huomioon rakennuskustannukset, käyttökustannukset ja nykyisin jossain määrin myös elinkaarikustannukset. Tilojen käytön aikana syntyy kuitenkin kustannuksia, joita yleensä ei oteta huomioon. Tällaisia ovat esimerkiksi akustisesti epätarkoituksenmukaisien tilojen aiheuttamat kustannukset terveysvaikutusten tai työajan hukkan vuoksi.



© 2019 Joni Kemppainen, Mikko Kylliäinen, Henry Niemi ja Antti Mikkilä. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Ei sovitettu –lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

Avotoimistojen akustiikkaa on tutkittu Suomessa ja kansainvälisesti varsin paljon. Tutkimuskirjallisuuden perusteella tunnetaan ratkaisut, joiden mukaan avotoimistot kannattaa suunnitella akustisesti ja toiminnallisesti. Tutkimuskirjallisuudessa on esitetty myös arvioita työajan hukasta silloin, kun avotoimiston akustiikka ei vastaa tarkoitustaan. Työajan hukka voidaan laskea puheenerotettavuuden ja puhesalien akustisen hyvyyden arvioimiseksi alkujaan kehitetyn puheensiirtoindeksin STI avulla. Puheensiirtoindeksiä voidaan käyttää myös puheen häiritsevyyden ja puheyksityisyyden arviointiin. [1–2]

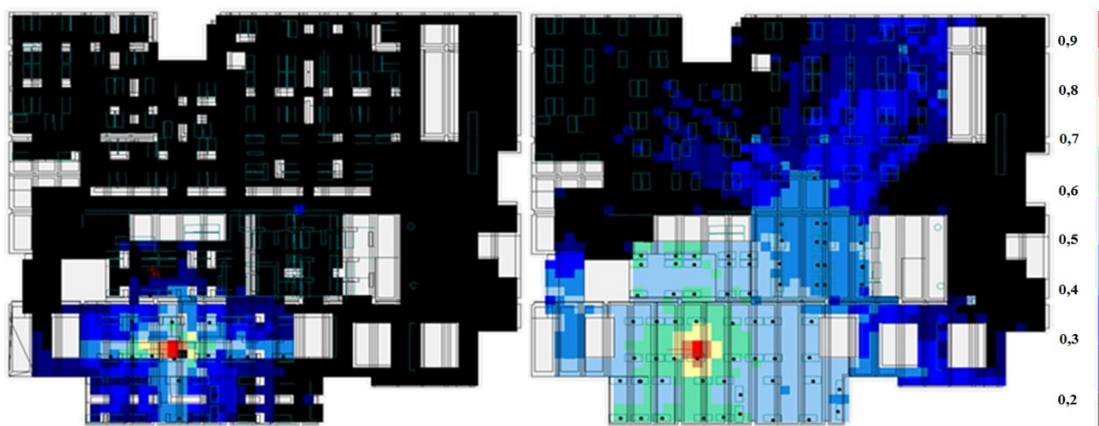
Tässä tutkimuksessa arvioitiin case-tapauksena 170 työpisteen avotoimistoa, josta laadittiin akustisesti tarkoituksenmukainen suunnitelma sekä vähimmäisvaatimukset täyttävä suunnitelma. Kummankin vaihtoehdon akustisista ratkaisuista syntyvistä rakennuskustannuksista laadittiin kustannusarvio ja tutkimuskirjallisuuden perusteella arvioitiin työajan hukasta syntyviä kustannuksia. Tutkimus on laajemmin selostettu lähteessä [3].

## 2 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 2.1 Huoneakustinen tietokonemallinnus

Avotoimiston akustisia parametreja tutkittiin huoneakustisella tietokonemallinnuksella kaupallisella Odeon Auditorium 14 -ohjelmalla. Toimiston geometriasta laadittiin kolmiulotteinen tilamalli, joka vietiin huoneakustiikan mallinnusohjelmaan. Ohjelmassa mallin pinnoille määritettiin absorptio- ja sirontakertoimet.

Ohjelman laskeman impulssivasteen avulla määritettiin puheensiirtoindeksin STI arvo koko toimiston alalle laskentaverkossa. Tarkoituksena oli selvittää puheensiirtoindeksi jokaisen työpisteen kohdalla. Koska puheensiirtoindeksillä on yhteys puheen häiritsevyydestä syntyvään työajan hukkaan [4], sen avulla voidaan tarkastella koko toimiston alalla syntyvää työajan menetystä. Puheensiirtoindeksin STI arvosta eri puolilla toimistoa laadittiin neljä laskentaverkkoa (kuva 1) siten, että äänilähde oli avotoimistossa neljässä eri työpisteessä.



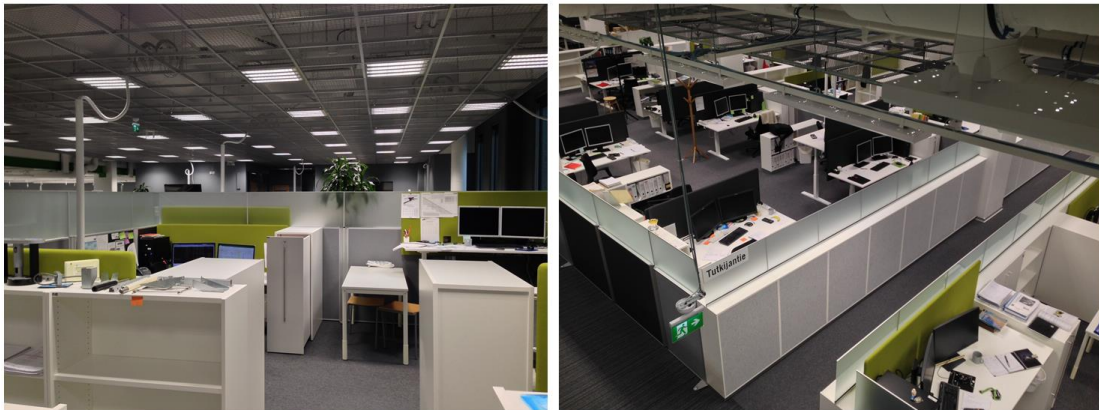
**Kuva 1.** Puheensiirtoindeksin STI leviäminen tarkoituksenmukaisessa (vasemmalla) ja vähimmäisvaatimukset täyttävässä (oikealla) avotoimistossa. Värejä vastaavat puheensiirtoindeksin arvot on esitetty oikealla laidassa. Äänilähde eli puhuja on punaisen alueen keskellä.

## 2.2 Rakennuskustannukset

Mallinnuksen avulla tutkittiin kahta eri vaihtoehtoa avotoimistolle. Avotoimisto 1 vastaa huoneakustiikaltaan tarkoituksenmukaisesti suunniteltua avotoimistoa (kuva 2). Tässä vaihtoehdossa työpisteet on eroteltu toisistaan kaapeilla ja seinäkkeillä. Toimiston katto on täynnä akustiikkamineraalivillaa ja lattia on peitetty tekstiilimatolla. Lisäksi tilaan on asennettu peittoäänijärjestelmä, jonka tuottama peittoäänitaso  $L_{A,eq,B}$  on 42 dB [2].

Avotoimisto 2 on suunniteltu täyttämään jälkikaiunta-ajan osalta standardin SFS 5907 [5] toimistohuoneille asettaman vähimmäistason eli laatuluokituksen D vaatimukset. Taustaäänitaso  $L_{A,eq,B}$  on 33 dB. Toimistossa ei työpöytien lisäksi ole muita kiintokalusteita. Katto on täynnä akustiikkamineraalivillaa ja lattiamateriaalina on käytetty muovimattoa.

Vaihtoehdoille 1 ja 2 on laskettu kalusteiden ja huoneakustisten pintojen materiaali- ja työ kustannukset sekä peiteäänijärjestelmän kustannukset. Muut kuin akustisista ratkaisuista syntyvät kustannukset, kuten rakennuksen rungon ja teknisten järjestelmien kustannukset, oletetaan samoiksi molemmissa vaihtoehdoissa. Vaihtoehtojen rakennuskustannukset on määrittänyt A-Insinöörit Rakennuttaminen Oy:n kustannuslaskentayksikkö. Hinnat on laskettu ilman arvonlisäveroa (alv 0 %). Arvio peittoäänijärjestelmän kustannuksista saatiin Audico Systems Oy:lta.

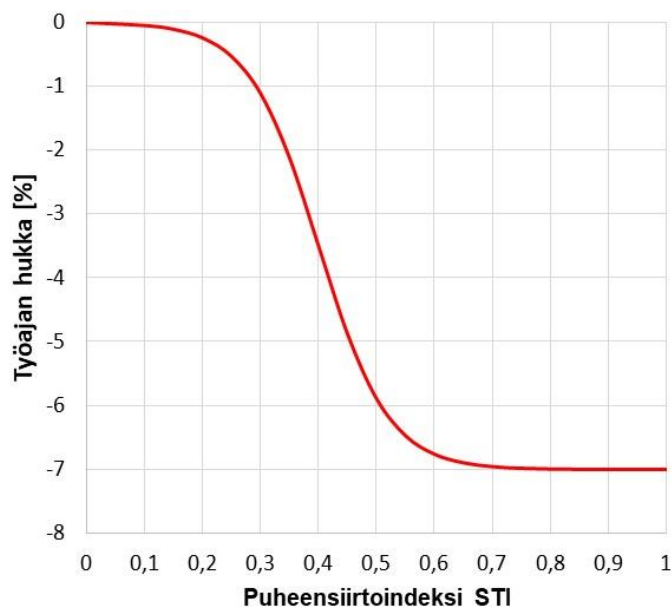


**Kuva 2.** Vaihtoehdon 1 (tarkoituksenmukainen huoneakustiikka) mukainen valmis avotoimistotila.

## 2.3 Työajan hukan kustannukset

Olettaen, että avotoimistossa on aina vähintään yksi puhuja jossain päin, STI:n perusteella voitiin laskea Hongiston mallin [4] mukaisesti työajan hukka ja edelleen siitä syntyvät kustannukset. Kuvassa 3 on esitetty puheensiirtoindeksin vaikutus työtehon alenemiseen Hongiston mukaisesti.

Työajan hukan kustannuksia laskettaessa on oletettu, että toimiston työajasta 90 % on laskutettavaa ja työtunnin hinta on 60 €/h (alv 0 %). Äänilähde sijoitettiin johonkin toimiston työpisteen kohdalle ja tämän perusteella on laskettu puheensiirtoindeksin arvон jakauma koko toimistossa. Tarkastelu tehtiin erikseen neljällä äänilähteen sijainnilla. Puheensiirtoindeksin lasketuista neljästä jakaumasta on laskettu keskiarvo, jonka perusteella on arvioitu työajan hukkaa vaihtoehdoissa 1 ja 2. Toisin sanoen on oletettu, että koko työpäivän ajan vähintään yksi työntekijä puhuu jossain päin toimistoa.



**Kuva 3.** Puheensirtoindeksin vaikutus työajan hukkaan Hongiston mallin [4] perusteella.

### 3 TULOKSET

#### 3.1 Rakennuskustannukset

Akustisten ratkaisujen materiaali- ja asennuskustannukset ovat vaihtoehdon 1 mukaisessa tarkoituksenmukaisesti suunnitellussa avotoimistossa 517 711 € ja vaihtoehdon 2 mukaisessa vähimmäistason mukaan suunnitellussa avotoimistossa 261 774 €. Kustannukset on laskettu ilman arvonlisäveroa (alv 0 %). Yksityiskohtainen kustannuslaskelma on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Akustisesti tarkoituksenmukaisen ja vähimmäisvaatimukset täyttävän avotoimiston rakennuskustannukset, joihin sisältyvät vain ääniolosuhteisiin liittyvät kustannukset.

Kustannuserä	Kustannukset	
	Toimisto 1 Tarkoituksenmukainen avotoimisto	Toimisto 2 Vähimmäisvaatimukset
Työpöydät	63 664 €	63 664 €
Seinäkkeet	58 474 €	–
Kaapit	93 000 €	–
Lattianpäällyste	93 960 €	68 904 €
Kattoabsorptio	78 540 €	78 540 €
Muut kustannukset	46 516 €	25 333 €
Kate	46 516 €	25 333 €
Peittoäänijärjestelmä	37 040 €	–
<b>Yhteensä</b>	<b>517 711 €</b>	<b>261 774 €</b>

### 3.2 Työajan hukkan kustannukset

Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty puheensieritoindeksin STI eri vyöhykkeillä työskentelevien työntekijöiden määrät mallinnuksen perusteella. Taulukoissa on esitetty myös Hongiston mallin [4] mukaisesti määritetyn työajan hukkan aiheuttama kustannusvaikutus vyöhykkeittäin.

**Taulukko 2.** Työajan hukasta aiheutuva kustannusmenetys tarkoituksenmukaisesti suunnitellussa avotoimistossa (vaihtoehto 1) yhden vuoden aikana.

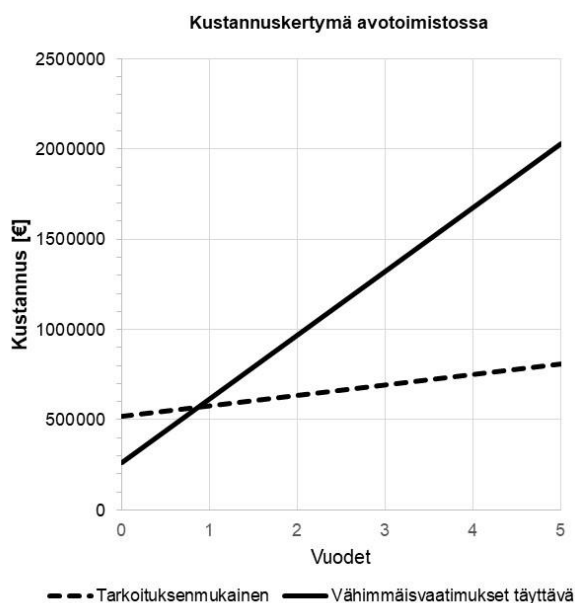
STI-vyöhyke	> 0,8	0,7-0,79	0,6-0,69	0,5-0,59	0,4-0,49	0,3-0,39	0,2-0,29
Työntekijöitä	1	1	1	4	5	9	9
Kustannusmenetys	1628 €	6477 €	4722 €	17825 €	17116 €	8805 €	2021 €
<b>Kustannusmenetys yhteensä</b>							<b>58595 €</b>

**Taulukko 3.** Työajan hukasta aiheutuva kustannusmenetys vähimmäisvaatimukset täyttävässä avotoimistossa (vaihtoehto 2) yhden vuoden aikana.

STI-vyöhyke	> 0,8	0,7-0,79	0,6-0,69	0,5-0,59	0,4-0,49	0,3-0,39	0,2-0,29
Työntekijöitä	1	4	14	20	31	27	19
Kustannusmenetys	1628 €	22669 €	86569 €	109692 €	100253 €	28228 €	4267 €
<b>Kustannusmenetys yhteensä</b>							<b>353306 €</b>

### 3.3 Kustannukset yhteensä

Kuvassa 4 on esitetty rakennuskustannuksista ja työajan hukasta muodostuva kustannuskertymä viiden vuoden aikana toimistossa 1 (tarkoituksenmukainen) ja toimistossa 2 (vähimmäisvaatimukset täyttävä). Ajanhetkellä 0 kustannukset sisältävät rakennuskustannukset, minkä jälkeen kustannuksia kertyy työajan hukasta.



**Kuva 4.** Akustisista olosuhteista 170 hengen avotoimistossa aiheutuva kustannuskertymä, johon sisältyvät rakennuskustannukset ja työajan hukasta syntyvät kustannukset.

## 4 TULOSTEN TARKASTELU

Mallinnuksen perusteella voidaan todeta, että avotoimiston suunnittelu vähimmäisvaatimusten mukaisesti altistaa suuren määrän työntekijöitä häiritsevälle puheelle, mikä kasvattaa kustannuskertymää viiden vuoden aikana. Akustisesti tarkoituksenmukaisesti suunnitellun avotoimiston materiaali- ja asennuskustannukset ovat noin kaksinkertaiset vähimmäistasoon verrattuna.

Työajan hukkaan perustuva kustannusmenetys on vähimmäisvaatimukset täyttävässä avotoimistossa kuusinkertainen tarkoituksenmukaiseen avotoimistoon verrattuna. Tulosten perusteella tarkoituksenmukaisesti suunniteltu avotoimisto maksaa itsensä takaisin jo vuoden kuluessa. Viiden vuoden käytön jälkeen vähimmäisvaatimukset täyttävä avotoimisto on tullut työajan hukaksi tässä tapauksessa noin 1,2 miljoonaa euroa kalliimmaksi kuin tarkoituksenmukainen avotoimisto. Kustannuskertymän perusteella huomion kiinnittäminen avotoimistoiden akustiikkaan myös määräys- ja ohjetasolla [6] on ollut perusteltua.

## 5 YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin case-tapauksena 170 työpisteen avotoimiston huoneakustisia olosuhteita ja niiden vaikutusta työajan hukkaan. Avotoimistosta laadittiin akustisesti tarkoituksenmukainen sekä vähimmäisvaatimukset täyttävä suunnitelma, joiden rakennuskustannukset laskettiin. Avotoimiston huoneakustiset ominaisuudet määritettiin huoneakustisella tietokonemallinnuksella ja työajan hukasta aiheutuvat kustannukset tutkimuskirjallisuuden avulla. Tulokset osoittavat, että akustisesti tarkoituksenmukaisen avotoimiston rakennuskustannukset ovat kaksinkertaiset vähimmäisvaatimukset täyttävään nähden. Työajan hukasta seuraavat kustannukset kuitenkin johtavat siihen, että alle vuodessa akustisesti tarkoituksenmukainen avotoimisto on jo minimivaatimukset täyttävää edullisempi. Viidessä vuodessa vähimmäisvaatimukset täyttävän avotoimiston aiheuttama kokonaiskustannuskertymä on työajan hukaksi 2,5-kertainen tarkoituksenmukaiseen avotoimistoon verrattuna ja työajan hukasta aiheutuva kustannuskertymä kuusinkertainen.

## VIITTEET

- [1] SFS-EN ISO 3382-3-2012. Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 3: Open plan offices, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki.
- [2] Hongisto V, Kylliäinen M, RIL 243-3-2008 Rakennusten akustinen suunnittelu, toimistot, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, 2008
- [3] Kempainen J, Akustisten olosuhteiden kustannusvaikutukset, Diplomityö, Aalto-yliopisto, sähkötekniikan korkeakoulu, Espoo, 2017.
- [4] Hongisto V, A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance, *Indoor Air* 15, 2005. 458–468.
- [5] SFS 5907-2004 Rakennusten akustinen luokitus, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki.
- [6] Ääniympäristö – Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä, ympäristöministeriö, Helsinki, 2018.