

Rakennusakustiikka toimistotiloissa

Rakenteiden liitoksien toteuttamisen näkökulmasta

Emilia Numminen

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2024

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Rakennustuotanto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Rakennustuotanto

NUMMINEN, EMILIA:
Rakennusakustiikka toimistotiloissa
Rakenteiden liitoksien toteuttamisen näkökulmasta

Opinnäytetyö 56 sivua
Huhtikuu 2024

Tässä opinnäytetyössä käsitellään rakennusakustiikkaa toimistotiloissa rakenteiden liitoksien toteuttamisen näkökulmasta. Opinnäytetyössä esitellään määräykset ja ohjeet sekä yleiset huomiot, joita käytetään toimistorakentamisessa. Työssä käsitellään uudisrakentamispuolelta betonirakenteisia toimistotiloja. Tarkemmassa tarkastelussa ovat liitokset ja niiden vaikutukset rakennusakustiikkaan.

Rakennusakustiikka toimistotiloissa on suunnittelijoiden erikoisalaa, mutta työmaalla työskentelevien ymmärrystä aiheeseen tarvitaan laadukkaan rakentamisen saavuttamiseksi. Opinnäytetyö on tiivistelmä nuoremmille työnjohtajille ja alaa opiskeleville, jotka kaipaavat lisää tietoa aiheesta.

Työ tehtiin kirjallisuuskatsauksena kirjallisuus- ja internetlähteiden perusteella. Aiheen rajauksen perusteina olivat määräyksien, ohjeiden ja suositusten saataavuus sekä rakenteiden liitoksien vaikutus rakennusakustiikkaan. Opinnäytetyössä on huomioitu toimistorakennusten erilaisia työskentelytiloja.

Ympäristöministeriön laatimat määräykset ja ohjeet toimistorakentamisessa ovat tarkentuneet viime vuosina. Tarkentuneiden määräyksien ja ohjeiden myötä tulevaisuuden toimistorakentamisessa rakennusakustiikkaan tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota sanallisten asetusten muututtua lukuarvoiksi. Opinnäytetyön jatkotutkimusehdotuksena on rakennusakustiikka toimistotiloissa puurakentamisen näkökulmasta.

Asiasanat: rakennusakustiikka, toimistotilat, liitokset

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Construction Production

NUMMINEN EMILIA:
Acoustics in Office Buildings
Implementing Structural Joints

Bachelor's thesis 56 pages
April 2024

The purpose of this thesis was to collect information on office building construction acoustics especially on structural joints. This study includes regulations and instructions set by the Ministry of the Environment. The objective of this research was to create a summary for younger supervisors and students of this field who need more information about this subject.

This study was conducted as a literature review based on books and the Internet sources. Research was focused on new construction when the main building material is concrete. The theoretical section of this thesis explores acoustics in office working spaces mainly by using structural joints. The research examines building acoustics from the view point of construction production.

As a result, it was found out that structural joints have a massive impact on sound transmission. Furthermore, regulations of the Ministry of the Environment have become more detailed. Contrary to expectations, the result of the study shows that during the construction phase there might be more factors that affect the compactness of structural joints. In conclusion, it is important to realize that there is much more to take account in building acoustics than merely the implementing of structural joints.

Key words: building acoustics, office building construction, structural joints

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TEORIA	7
	2.1 Toimistotiloista yleisesti	7
	2.2 Akustiikan osat	8
	2.2.1 Ilmaääneneristys	9
	2.2.2 Askelääneneristys	10
	2.2.3 Muut akustiikkaan vaikuttavat tekijät	10
	2.3 Akustiikan haasteet	13
	2.3.1 Meluongelmat toimistotilassa	15
	2.3.2 Sivutiesiirtymä	15
3	ÄÄNEN SIIRTYMINEN TILASTA TOISEEN	17
	3.1 Rakojen syntyminen toteutusvaiheessa	17
	3.2 Äänen kulkeutuminen rakennusosan kautta	18
	3.3 Rakenteelliset sivutiesiirtymät	22
	3.4 Tilojen muuntojoustavuus liitoksien näkökulmasta	25
	3.5 Rakenteiden yhteisääneneristävyys	27
4	MÄÄRÄYKSET JA OHJEET	30
	4.1 Velvoittavuuksien tasot	30
	4.2 Yleiset määräykset ja ohjeet toimistoissa	30
	4.3 Tilakohtaiset suositukset	33
5	LIITOSTYYPIT	36
	5.1 Betonirakenteiden liitostyytit elementtirakentamisessa	36
	5.2 Esimerkkiratkaisuja liitosten toteutuksesta	42
6	AKUSTISTEN MITTAUSTEN PERUSTEET	47
	6.1 Mittauskohteet ja -tavat	47
	6.2 Toimenpiteet ennen mittauksia	48
	6.3 Mittausten suoritus teoreettisesti	49
	6.4 Mittaustulosten analysointi	51
7	POHDINTA	52
	LÄHTEET	55

LYHENTEET JA TERMIT

Absorptiomateriaali	Sijoitetaan tilan pinnoille, yleensä kattoon. Materiaalin käyttö on yleisin tapa vaimentaa puheääniä avotoimistoissa.
Desibeli [dB]	Suhdeluku, joka kuvaa äänenvoimakkuutta
Enimmäisäänitaso [dB]	Voimakkuudeltaan suurin äänitaso tarkastelujakson T aikana määritellyllä aikapainotuksella F (fast) ja A-taajuuspainotuksella. Taloteknisten laitteiden akustisessa suunnittelussa ja vaatimusten todentamisessa käytetään mittalukua $L_{AFmax,T}$.
Ilmäääni	Äänilähteestä ympäristöön ilman välityksellä hajaantuva ääni, kuten puhe, musiikki, äänentoistolaitteiden ääni tai erilaisten taloteknisten laitteiden aiheuttama ääni.
Kelluva rakenne	Lattiarakenne, jossa on ontelo- tai massiivilaatan päällä joustava kerros ja päällisemäisenä kerroksena pintarakenne. Rakenne on irti kaikista sivuavista rakenteista
Kenttämittaus	Valmiissa rakennuksessa suoritettava mittaus
Keskiäänitaso $L_{Aeq,T}$ [dB]	A-painotetun äänenpaineen keskimääräistä tehollisarvoa todetulla aikavälillä T vastaava äänitaso.
Puheenerotettavuus	Puheen selvyyttä tilassa kuulijan näkökulmasta kuvaava subjektiivinen käsite.
Taajuus [Hz]	Värähtelyjen lukumäärä sekunnissa. Ihminen voi kuulla noin 20–20 000 Hz:n taajuisia ääniä.
Toimistotila	Erilaisia työskentelyyn käytettäviä tiloja, esimerkiksi työhuone ja avoin toimistotila.
Värähtely	Järjestelmän tai kappaleen osien jaksollista liikettä.
Ääni	Kimmoisassa väliaineessa hallitseva painevaihtelu, jonka taajuus ja äänenpainetaso ovat kuuloalueella.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö käsittelee rakennusakustiikkaa toimistotiloissa tuotannollisesta näkökulmasta. Tarkemmassa tarkastelussa työssä ovat liitokset ja niiden vaikutus akustiikan eri osa-alueisiin. Opinnäytetyö on kirjallisuuskatsaus, jonka tavoitteena on tehdä selvitys toimistotilojen rakennusakustiikasta rakenteiden liitoksien toteutuksen näkökulmasta ja koota yhteen tarvittavat määräykset ja ohjeet aiheesta.

Aiheen monipuolisuus herätti mielenkiinnon ja on syy opinnäytetyön tekemiselle aiheesta. Liitoksien toteutuksen haasteena on saavuttaa rakenteeseen täydellinen tiiviys. Mikäli täydellistä tiiviyttä ei saavuteta, pääsee ääni kulkemaan rakenteen läpi, heikentäen rakenteen ilmaääneneristävyyttä ja tilan työskentelyolosuhteita. Opinnäytetyö on suunnattu nuoremmille työnjohtajille ja alalle koulututtaville, keiden tietovarastot aiheesta eivät ole vielä kattavat.

Opinnäytetyö rajautuu toimistotiloihin uudisrakentamisessa. Työssä ilmenee ohjearvoja ja rakenteita, joissa rungon päärakennusmateriaalina on betoni. Opinnäytetyössä esitellään erilaisille työskentelytiloille annettuja asetuksia sekä ohjeita. Työssä ei huomioida toimistojen muita tiloja kuten käytäviä, taukhuoneita tai saniteettitiloja muuten kuin tarvittaessa työskentelytilojen näkökulmasta.

Laskentakaavat ja niiden tulkitseminen on osa rakentamista. Harva alalla työskentelevä edes ymmärtää murto-osaa rakentamisessa käytettävistä kaavoista tai niiden vaikutusta kohteen lopputulokseen. Rakennusakustiikka on monipuolinen, suunnittelijoita ja työnjohtajia yhdistävä rakentamisen osa-alue, josta löydetään jatkuvasti uutta tietoa. Työnjohtajien tulee ymmärtää ja tulkita oikein suunnittelijoiden esittämät ratkaisut myös niissä tapauksissa, kun rakenteet ovat vaativia.

Työnjohtaja kyseenalaistaa suunnittelijan ratkaisuja, ja usein hän haluaa vastaukseksi loogisen ratkaisun kysymykseensä. Miksi toleranssien mukainen rakentaminen ei riitä, ja miksi toimistorakentamisessa liitoksien toteuttaminen vaatii täydellistä työnjälkeä? Nämä ovat kysymyksiä, joihin on tavoitteena löytää ratkaisu opinnäytetyössä.

2 TEORIA

2.1 Toimistotiloista yleisesti

Akustiikkaa tarkasteltaessa yleisin äänilähde, jota tutkitaan, on puhe. Sama pätee myös toimistojen rakennusakustiikassa, sillä puheääni koetaan yleensä häiritsevimpänä äänilähteenä. Toimistoissa ja etenkin avotoimistossa työskennellessä pitää pystyä kommunikoidaan normaalisti, mutta se ei saisi kuitenkaan häiritä ympärillä työskenteleviä henkilöitä. (RIL 243-1-2007 2007, 54.)

Toimistorakentamisessa tyypillinen runkotyyppi on pilari-palkkirunko, jossa pilarit toimivat kantavana rakenteena niiden varaan asetettavien palkkien kanssa sekä ulkoseinällä, että rakennuksen keskellä. Molemmat rakennusosat pilarit sekä palkit voivat olla betonia, terästä tai näiden liittorakenteita. Välipohjat ovat usein ontelolaatastoja, liittolaattoja tai paikalla valettuja betonilaattoja. Jäykistävinä rakenteina toimistorakennuksissa toimivat porrashuoneet ja hissikuilut sekä mahdollisesti myös päätyjen betoniseinät. (RIL 243-3-2008 2008, 73.)

Olosuhteet toimistotiloissa yritetään rakentaa sellaisiksi, että tilassa pystytään työskentelemään ilman häiriötekijöitä. Tiloissa keskusteleminen tulee tapahtua ilman, että viereisellä työpisteellä työskentelevä henkilö häiriintyy puheesta. Toimistorakentamisessa tavoitellaan sellaista lopputulosta, jossa työ- ja neuvotteluhuoneissa voidaan käydä luottamuksellisia keskusteluita ilman, että viereisessä tilassa kuullaan keskustelua.

Toimistorakentaminen on muuttunut vuosikymmenten varrella ääripäästä toiseen. Yksilötyöhuoneista siirryttiin maisematoimistomalliin, josta myöhemmin muuntautui avotoimistomalli. Lopulta tietokoneet ja puhelimet astuivat myös toimistomaailman arkipäivään, ja muuttivat jälleen toimistorakentamista. (RIL 243-3-2008 2008, 11–13.) Viime vuosina muuntojoustavuus on lisääntynyt toimistorakentamisessa, jotta tilat palvelevat mahdollisimman monipuolisesti ja pitkään yrityksiä. Tietokoneet ovat kehittyneet eikä työskentely ole enää paikkasidonnaista kannettavien tietokoneiden ja ohuiden näyttöjen myötä. Siinä samalla työpisteiden koko on pienentynyt.

2.2 Akustiikan osat

Ilmaäänien lähteitä, joita rakennuksissa ilmenee, ovat esimerkiksi musiikki, puhe, äänentoistojärjestelmät ja erilaiset tekniset järjestelmät. Ilmaäänit saavat pinnat tilassa värähtelemään, kuten seinärakenteet sekä ala- ja yläpohjan. Rakenteen värähtelyn seurauksena ääni siirtyy rakenteiden kautta tilasta toiseen, kun ilma värähtelee rakenteen toisella puolella. Äänen siirtymistä tilasta toiseen vähennetään ilmaääneneristyksellä. (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018, 19.)

Akustiikka sisältää neljä osa-aluetta, vaikka puhuttaessa aiheesta tarkoitetaan useimmiten tilojen huoneakustiikkaa. Vaativissa kohteissa huoneakustiikka on vain yksi osa akustisen suunnittelun kokonaisuutta. Akustiikan neljä osa-aluetta rakentamisessa ovat Kylliäisen, Tervon & Yli-Pietilän (2023) mukaan seuraavat:

- **Huoneakustiikka** koskee äänen heijastumista, vaimenemista, leviämistä, siroamista ja muuta käyttäytymistä saman tilan sisällä. Tarkoituksena on tilassa olevan äänilähteen, kuten puhujan tai orkesterikokoonpanon, saaminen kuulostamaan siltä, mitä tilan käyttötarkoitus edellyttää.
- **Ääneneristys** tutkii äänen siirtymistä eri tilojen välillä rakenteiden kautta. Äänilähteen luonteen perusteella puhutaan ilmaääneneristyksestä ja askel- tai runkoääneneristyksestä.
- **Meluntorjunnan** tarkoituksena on vähentää rakennuksen ulkopuolisen melun, kuten tie-, raide- tai lentoliikenteen ja teollisuuden aiheuttaman melun, syntymistä tai estää sen etenemistä erilaisin meluestein tai ääntä eristävin rakentein. Rakennuksen sisällä meluntorjunnan tarkoituksena on vähentää koneiden tai rakennuksen teknisten järjestelmien aiheuttamaa melua vaikuttamalla melun syntymiseen tai estämällä sen leviämistä ääntä eristävin rakentein, erilaisin äänenvaimentimin tai huoneakustiikan keinoin.
- **Tärinän- ja runkomeluntorjunnan** tarkoituksena on vanhastaan ollut eristää rakennuksen rungosta koneet ja laitteet, jotka liikkuvat tai pyörivät, sillä liike saa rakenteet värähtelemään, mikä havaitaan joko ilmaääninä tai tärinänä. Viime vuosikymmeninä on eristetty kokonaisia rakennuksia värähtelevästä maaperästä tai rakenteista, kun rakennus on toteutettu radan varrelle tai päälle. (Kylliäinen ym. 2023, 20–21.)

Rakennusakustiikka ja sen osa-alue huoneakustiikka sekoittuvat herkästi toisiinsa. Rakennusakustiikka käsittelee koko rakennuksen rakenteisiin liittyviä akustisia ominaisuuksia. Huoneakustiikka käsittelee yhden tilan sisällä tapahtuvia akustisia tapahtumia, joihin vaikuttavat tilan pinnoilla olevat materiaalit. Kuviossa 1 nähdään, miten aihealueet jakautuvat näiden kahden käsitteen alle. (Akukon 2017, 4.) Opinnäytetyössä käsitellään rakennusakustiikkaa, kuten rakenteiden ääneneristystä, tärinää ja rakenteiden liittyviä.



KUVIO 1. Akustinen suunnittelu (Akukon 2017, 4).

Ääni etenee väliaineen kautta, mikä voi olla myös kiinteä aine. Esimerkiksi rakennuksen runkorakenteissa ääni etenee taivutusaaltona. Ilmaääni saa ympäristön rakenteet värähtelemään ja synnyttää taivutusaalloilla rakenteeseen taipumia äänen etenemissuuntaan kohtisuorassa suunnassa. Rakenteeseen kiinnitetty laite värähdellessään tai rakenteeseen kohdistuvat iskut voivat myös synnyttää rakenteissa etenevää runkoääntä. (Kylliäinen ym. 2023, 37–38.) Ääni voi kulkeutua pystysuuntaisesti tai vaakasuuntaisesti rakenteiden läpi tilasta toiseen.

2.2.1 Ilmaääneneristys

Ilmaääneneristyksellä pyritään minimoimaan puheen, soitinten, äänentoiston, musiikin tai teknisten järjestelmien huonetilaan synnyttämän ilmaäänien siirtymistä toiseen huonetilaan. Rakennusosan tai -osien muodostaman kokonaisuuden ominaisuutta rakennuksen eri tilojen välillä kutsutaan ilmaääneneristävyudeksi. Ilmaääneneristävyys koostuu rakennusosassa sen rakennekerroksista sekä niiden ominaisuuksista, ilmavälien täytöistä ja rakennekerrosten välisistä kytkennöistä (esimerkiksi ranka, liima, ilmaväli, ruuvi). (Kylliäinen ym. 2023, 57.)

Äänitehon siirtymistä tilojen välillä kuvataan ilmaääneneristykseen yksikkönä R . Mitattavaa ääneneristyslukua R_w käytetään laboratoriossa ilmentämään yksittäisen rakennusosan, esimerkiksi ikkunan tai väliseinän, kykyä eristää ilmaääntä. Mitä suurempia nämä kaksi lukuarvoa ovat, sitä parempi kyky rakennusosalla on eristää ääntä. Tilojen välinen äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ pystytään laskemaan rakennusosien ilmaääneneristysluvuista R_w ja rakennusosien välisten liitosten liitoseristävyyksistä. (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018, 19.)

2.2.2 Askelääneneristys

Runkoääntä syntyy iskuista, joita aiheuttavat esimerkiksi kävely, esineiden putoaminen tai huonekalujen siirtely. Edellä mainittujen äänilähteiden aiheuttamia runkoääniä kutsutaan askelääniksi. Askeläänierityksellä tarkoitetaan rakennusosan tai -osien muodostaman kokonaisuuden tai eri materiaalien kykyä eristää lattiarakenteeseen kohdistetun askelten äänten tai erilaisten esineiden putoamisesta aiheutuvien iskujen aiheuttamien äänten leviämistä. (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018. 7; Kylliäinen ym. 2023, 38.)

Askeläänieristys ja ilmaääneneristys syntyvät samanlaisten ilmiöiden pohjalta, mutta äänen syntymekanismi on erilainen eri rakenteissa. Siksi eristysten ratkaisut ja toteutustavat eroavat osittain toisistaan. Askelääneneristystä arvioidaan epäsuorasti askeläänikojeen avulla. (Kylliäinen ym. 2023, 38, 101.)

2.2.3 Muut akustiikkaan vaikuttavat tekijät

Ympäristöministeriön asetuksessa on määritelty äänitasovaatimukset, joita LVIS-järjestelmät eivät saa ylittää. Arvot määrittävät suunnitelmiin mitoitettavien putkien ja laitteiden koot. Suunnitelmissa esitetään lämmitysjärjestelmän osalta putkiston mitoitus, laitteiden ja putkien sijoittelu, laitevalinnat, kannakointijärjestelmä sekä lämmönjakohuoneen sijainti ja siellä olevien laitteiden tärinäeristys. (RIL 243-1-2007 2007, 214.)

Käyttövesijärjestelmän haasteena on järjestelmän virtausmelu sekä putkien läpiviennit, jotka voivat heikentää ilma- ja askelääneneristävyyttä. Käyttövesijärjestelmän osalta on erityisen tärkeää noudattaa annettuja suunnitelmia putkien kannattelusta, jotta äänitasot pysyvät annettujen asetusten mukaisina. Käyttövesijärjestelmän vuoksi voidaan joutua tekemään rakenneteknisiä ratkaisuja, kuten ääntä eristäviä alakattoja, jos äänitasoja ei saada muuten pysymään riittävän alhaisina. (RIL 243-1-2007 2007, 214.)

Viemäri-vesijärjestelmän haasteet akustiikassa sijoittuvat samoihin asioihin kuin käyttövesijärjestelmässä. Viemäri-vesijärjestelmän äänenhallinnassa on kiinnitettävä huomiota viemäri-linjojen suoruuteen, putkien sijoitteluun sekä järjestelmään, jolla putkia kannatellaan. Viemäri-vesijärjestelmän äänenhallintaan vaikuttavat putkistomitoitus, putkiston materiaalivalinnat, laite- ja kalustovalinnat sekä laitteiden ja putkien sijoittelu. (RIL 243-1-2007 2007, 214–215.)

Tärinäeristys ja melu

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017 kerrotaan sanallisesti vaatimukset toimistorakennuksen tärinäeristyksen osalta uuden rakennuksen melun- ja tärinätorjunnalle:

Rakennuksen, jossa on asuntoja, majoitus- tai potilashuoneita, runkoääni- ja tärinäeristys sekä opetus-, kokous-, ruokailu-, hoito-, harrastus-, liikunta- ja toimistotilojen melun- ja tärinätorjunta on suunniteltava ja toteutettava tilan käyttötarkoitus huomioon ottaen siten, että niissä saavutetaan toimintaa vastaava riittävän hyvä ääniympäristö. (Ympäristöministeriön asetus 796/2017 2017.)

Melu on ei-toivottua ääntä, joka häiritsee omaa käynnissä olevaa aktiviteettia tai on itselle tarpeetonta. Ohjearvot on laadittu sellaisiksi, että ääni koetaan harvoin haitalliseksi meluksi ohjearvojen alapuolelle sijoittuvalle äänelle. Yleisimmin ääni kantautuu kuulijalle ilmanteitse, mutta maanpinnan värähtely voi myös aiheuttaa rakennuksen rakenteissa niin voimakasta värähtelyä, joka voidaan kuulla runkoääninä. (Hongisto 2023, 16.)

Runkomelu

Ilmiöllä, jossa liikenteestä maaperään siirtyvä värähtely liikkuu maaperää pitkin läheisiin rakennuksiin, tarkoitetaan runkomelua. Runkomelulle suotuisimpia alueita ovat kallioperäiset alueet, jotka sijaitsevat lähellä rautateitä. (Lepistö 2020, 8.) Raideliikenne, räjäytystyöt, remontointi, paalutus ja muut maanrakennustyöt saattavat aiheuttaa tärinää ja runkomelua. Runkomelu tulee tiedostaa jo rakentamisen aikana esimerkiksi paalutuksesta johtuvan tärinän ja melun vuoksi. (Kylläinen ym. 2023, 171.)

2.3 Akustiikan haasteet

Ääneneristysongelmat yleistyvät, kun ääneneristysvaatimukset kasvavat. Alla on listattuna yleisimmät haasteet toimistorakennuksissa RIL 243-3-2008 (2008) mukaan, joista ääneneristysongelmat henkilötyöhuoneiden välillä johtuvat:

- Kynnys on jätetty kokonaan pois siivoustyön helpottamiseksi, ovista puuttuvat tiivisteet tai kynnys on huullokseton. Tiiviys ei tällöin toteudu tarkoituksenmukaisesti. Ääneneristys paranee asentamalla kynnys ja tarkastamalla tiivistykset, mutta ei oven ääneneristysluokkaa parantamalla.
- Huoneessa olevan liukuoven tiiviys ja rakenteellinen ilmaääneneristys on riittämätön.
- Järjestelmäväliseinissä tai kiinteissä kevytväliseinissä olevat saumat ovat huonosti tiivistetty. Eniten ongelmia on havaittu sivuavien rakenteiden pystyliittymissä sekä yläsaumassa. Rakenteen tulee olla ensin tiivis, jotta lisäeristäminen toisi parannusta.
- Huoneesta toiseen etenevä sähkökouru tai lämmitysputkiston läpivienti on tiivistämättä väliseinän kohdalta, tyypillisesti nämä sijoittuvat julkisivuseinälle.
- Ääneneristys on riittämätön huoneen seinässä, joka on kokonaan tai osin lasia. Ääneneristysvaatimukset lasitetun seinän osalta ovat likimain samat kuin itse seinänkin.
- Haarakanavassa ei ole äänenvaimenninta huoneiden välillä, joten ääni kantautuu ilmanvaihtokanavia pitkin huoneiden välillä.
- Ilmaääneneristävyys on riittämätön vierekkäisten työhuoneiden erottavan väliseinän ja julkisivun välisessä liitoksessa, koska ikkunasyvennyksessä joudutaan käyttämään ohennettua levyrakennetta.
- Alas lasketun katon läpi kulkeutuu ääntä huoneeseen käytävältä, koska läpiviennit on tiivistetty huonosti otsapintaan.
- Otsapintaa tai käytäväseinää pitkin siirtyy ääntä huoneesta toiseen rakenteellisten sivutiesiirtymien vuoksi.
- Ääni kantautuu sisäkaton yläpuolitse, jos väliseinä ei ole täyskorkea, vaan on katkaistu alas lasketun sisäkaton korkeudelta.
- Ääneneristystavoitteiden täyttymisestä huolimatta puheäänit erottuvat. Todennäköinen syy on huoneen taustäänitason liian alhainen taso. (RIL 243-3-2008 2008, 34.)

Puhe

Puhe on yksi avotoimistojen melunlähteistä. Muilta työpisteiltä kuuluvaa puhetta pidetään häiritsevänä äänenä toimistotiloissa (RIL 243-1-2007 2007, 158). Normaali puhe sisältää ääniä pääasiassa 100–10 000 Hz taajuusalueella. Miehen perusääni on noin 100–200 Hz taajuusalueella ja naisella 200–400 Hz taajuusalueella. Puheen erotettavuus eli kuinka hyvin puheesta saa selvää riippuu taustamelusta, puheen äänitasojen erotuksesta, jälkikaiunta-ajasta, etäisyydestä puhujan ja kuulijan välillä sekä puhujan suuntaavuudesta sekä suunnasta kuulijaan nähden. (RIL 243-1-2007 2007, 54–55).

Puheensiirtoindeksillä STI voidaan fysikaalisesti mitata puheen erottavuutta puhujan ja kuulijan välillä. STI-luku voi vaihdella lukuarvojen 0,00–1,00 välillä, täydellinen puheenerottavuusarvo on 1,00. Avotoimistossa tavoitellaan kuitenkin mahdollisimman alhaista STI-arvoa, jotta keskittyminen ja yksityisten keskusteluiden käyminen on mahdollista. (RIL 243-1-2007 2007, 55–56; Kylliäinen & Hongisto 2019.)

2.3.1 Meluongelmat toimistotilassa

Ympäristöministeriön julkaisemassa julkaisussa rakennuksen ääniolosuhteiden suunnittelu ja toteutus (2019) ilmenee, että toimistotilojen ääniolosuhteita aloitettiin tutkimaan, kun havaittiin meluongelmien yleistyvän avoimissa toimitiloissa.

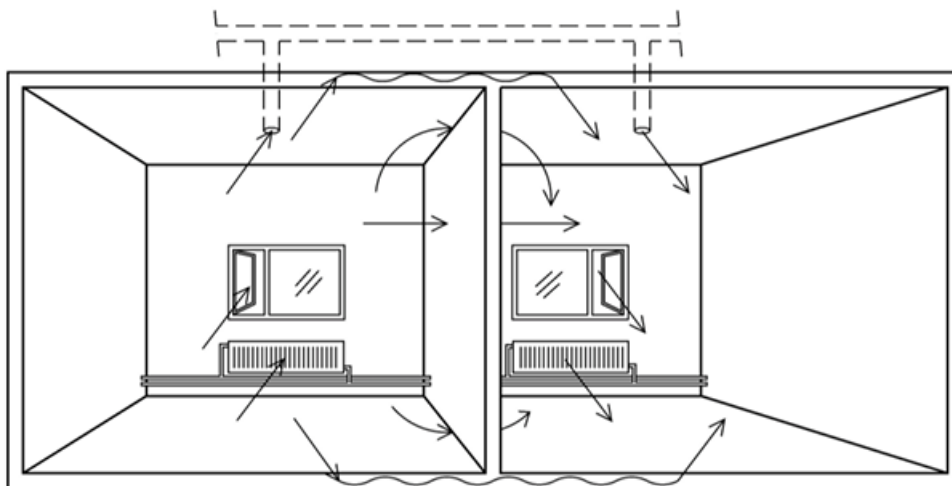
Tutkimuksista tuli esiin seuraavia havaintoja:

- Melun häiritsevyys ja puheyksityisyyden puute eli kokemus siitä, että luotamukselliset keskustelut kuuluvat muiden kuin asianosaisten korviin, ovat keskeisiä syitä työympäristötyytymättömyyteen.
- Työtoverien puheäänet ovat keskeisin melun lähde, eikä esimerkiksi rakennuksen ulkopuolinen melu tai ilmanvaihto.
- Avoimissa toimistoympäristöissä melun häiritsevyys on yleensä suurempi kuin yhden työpisteen toimistohuoneissa.
- Tarkoituksenmukaisesti toteutettujen peruskorjausten ja sisustusmuutosten yhteydessä voidaan lisätä samalla puheyksityisyyttä ja vähentää melun häiritsevyyttä.
- Jos vetäytymishuoneita on paljon, voi äänen häiritsevyys olla pienempi.
- Jos STI-arvo on pienempi eli puheen häiritsevyysetäisyys on lyhyempi, niin melun häiritsevyys on keskimäärin pienempi. (Kylliäinen & Hongisto 2019, 18.)

2.3.2 Sivutiesiirtymä

Sivutiesiirtymällä tarkoitetaan äänen siirtymistä tilasta toiseen, kun se tapahtuu jotain muuta reittiä kuin suoraan tiloja erottavan rakenteen välityksellä. Rakenteellisella sivutiesiirtymällä tarkoitetaan rakenteiden kautta tapahtuvaa sivutiesiirtymistä. (Kylliäinen ym. 2023, 84.) Rakenteellisessa sivutiesiirtymässä riittää, että äänen kulkeutumisreitillä on ainakin yksi huoneita sivuava rakenne. (RIL 243-1-2007 2007, 106.) Rakentamismääräykset (Ympäristöministeriön asetus 796/2017, Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018, myöhemmin työssä lyhenteinä YMa 796/2017, YMo 2018) koskevat ilmaääneneristävyyttä rakennuksessa, johon rakenteelliset sivutiesiirtymät voivat vaikuttaa melkoisesti äänen kulkeutumisen osalta tilasta toiseen. (Kylliäinen ym. 2023, 84.) Ulkoseinärakenteen sisäkuori ja välipohja ovat ääneneristyksen ongelmallisin osa, jos rakenne jatkuu yhtenäisenä tilojen välillä.

Ääni saattaa siirtyä tilasta toiseen myös LVIS-järjestelmien putkien, kanavien ja johtojen kautta (kuva 1). LVIS-järjestelmien lisäksi ilmaääneneristävyyteen tilojen välillä mahdollisesti vaikuttavat rakenteissa olevat raot, kuten ilmanvaihtokanavien tai patteriputkien läpiviennit tai huonosti tiivistetyt elementtien saumat. (Kylliäinen ym. 2023, 84.)



KUVA 1. Ääni siirtyy rakennuksessa tilasta toiseen rakenteiden kautta, rakennusten teknisten järjestelmien kautta ja rakenteellisena sivutiesiirtymänä (Kylliäinen ym. 2023, 84).

3 ÄÄNEN SIIRTYMINEN TILASTA TOISEEN

3.1 Rakojen syntyminen toteutusvaiheessa

Rakennusakustiikan suunnittelussa ei pystytä ottamaan ennalta huomioon kaikkia toteutusvaiheen muutoksia ja haasteita. Toteutusvastuu on työmaalla olevien henkilöiden vastuulla, mutta yhteistyö suunnittelijoiden kanssa on tärkeätä, jotta rakentaminen on laadukasta ja kustannustehokasta. Toteutusvaiheessa rakoja pääsee syntymään rakenteiden liitoskohtiin

- aikataulullisista syistä
- taloudellisista syistä
- henkilöstön epäpätevyyden vuoksi, työnjohdon ja/tai työntekijöiden osalta
- epäsiistin työnjäljen tai virheen vuoksi, rakenteessa ja/tai liitoksessa.

Aikataulut työmaalla on usein tiukkoja, etenkin Suomessa rakentaessa vuodenaikojen olosuhteiden vaihtelun vuoksi. Rakennusakustiikan näkökulmasta tiukat aikataulut heijastuvat heikompaan työntoteuttamiseen. Heikompi työtoteuttamisen taso perustuu kiireeseen tai sen tuntuun työmaalla, jonka takia työsuoritteiden laatu ei pysy korkeana. Työntoteutus vaihtuu linjastomaiseen työskentelyyn, jonka seurauksena joukkoon mahtuu hieman vinoon asennettuja osia tai liitoksien ei anneta kuivua riittävän pitkää aikaa.

Taloudelliset syyt ovat toteutusvaiheessa melko näkymättömissä. Ne voivat kuitenkin näkyä liitoksien toteutuksessa esimerkiksi vuosikorjauksien aikana, koska tilat on otettu käyttöön ja havaittu, että ääni pääsee kulkemaan tilojen välillä rakenteiden välistä. Taloudellisesta näkökulmasta voidaan myös ajatella työn toteutusvaiheessa, että kustannuksia säästetään akustisissa mittauksissa tai työnjohdon lukumäärässä. Taloudelliset syyt voivat heijastua myös materiaalivalintoihin, jotka heikentävät liitosten pitkäikäisyyttä. Toteutusvaiheen edullinen tai väärä materiaalivalinta voi vaikuttaa akustisiin ominaisuuksiin lyhyessäkin ajassa heikentävästi, jos on käytetty kyseiseen kohtaan soveltumatonta materiaalia.

Henkilöstön pätevyys työnjohdossa sekä työntekijöiden keskuudessa ovat avainasemassa laadukkaassa rakentamisessa. Työnjohdon tulee ymmärtää rakenteiden ja liitosten toimivuudesta, dokumentoinnin tärkeydestä, kaikkien osaluokkien yhtäaikaisesta toimivuudesta sekä tarkkailla työntekijöiden työnjäljen laatua. Työnjohdossa kyetään omalla toiminnalla sekä tietotaidolla nostamaan laadullista tasoa liitoksien toteutuksessa. Heikon työnjohdon seurauksena on riski, että työvaiheita jätetään välistä tai ne tehdään huolimattomasti, joiden välittömänä seurauksena on rakennusakustiikan ja liitoksien heikentyminen.

Epäsiisti työnjälki rakenteessa ja/tai liitoksessa paljastuvat usein vasta tarkastuksissa tai akustisia mittauksia suorittaessa, jos dokumentointi ja työnjohdon tarkastukset ovat olleet vaillinaisia. Epäsiistin työnjäljen syyt ovat usein taloudellisten ja aikataulullisten paineiden yhteistuloksena. Rakennusakustiikka ja etenkin liitoksien toteuttaminen ovat erittäin herkkiä epäsiistille työnjäljelle, koska sen seurauksena liitokseen jää usein rakoja. Mikäli rakenteen toteutuksessa on tapahtunut virhe, paljastuu se nopeasti, koska virheen näkee todennäköisesti tarkastuksia suorittaessa tai se vaikuttaa seuraavan työvaiheen toteutukseen.

3.2 Äänen kulkeutuminen rakennusosan kautta

Yleisimmin ääni pääsee siirtymään tilasta toiseen tiloja erottavan rakennusosan kautta. Lisäksi ääni kulkeutuu sivutiesiirtymänä muiden rakennusosien kautta, jotka kytkevät tilat toisiinsa. Sivutiesiirtymän vaikutusta voidaan minimoida sivuavissa rakenteissa esimerkiksi kaksinkertaistamalla rakenne. Rakenneliitoksiin tulee kiinnittää huomiota, ne tulee tehdä suunnitelmien mukaisesti ja tarvittaessa katkaista sivuava rakenne. (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018, 19–20.)

Liitoksen tyyppi on sivutiesiirtymien voimakkuuden kannalta keskeisessä asemassa massiivirakenteissa. Suunnittelijan pitää tuntea värähtelyeristävyys K [dB], joka kertoo liitoksen eristävyden määrän värähtelyn edetessä liitoksen ylitse. Liittyvien rakenteiden määrän kasvaessa ja/tai liitoksen rakenteiden pintamassojen välisen eron kasvaessa liitoksen eristävyys paranee. (Hongisto 2023, 126).

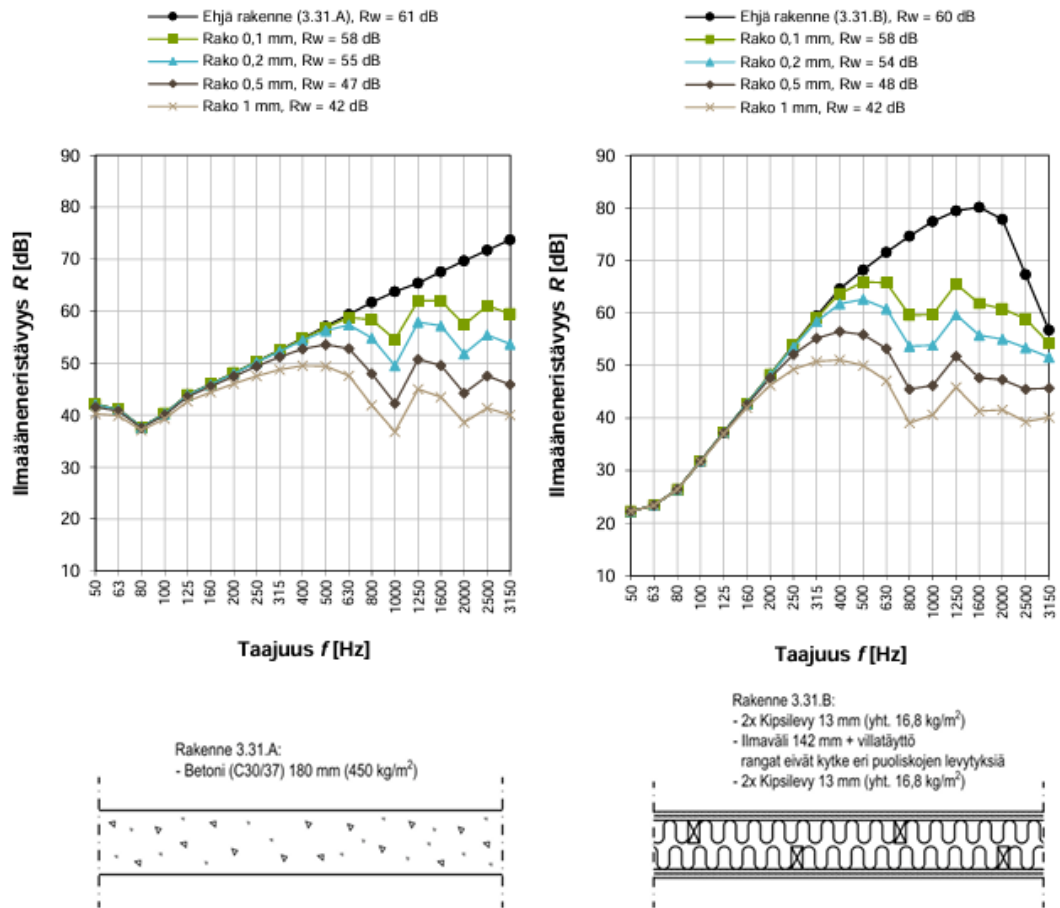
Jokaisen rakenteen paksuus on tarkasti laskettu ja perusteltu. Akustiset ilmiöt vaikuttavat esimerkiksi rakennuslevyjen paksuuteen (Kylliäinen ym. 2023, 3). Akustiikkaa huomioidaan rakenteissa jatkuvasti enemmän, kun saadaan kerättyä tietoa uusien ohjeiden mukaisten ratkaisuiden sekä uusien materiaalien vaikutuksesta äänimaailmaan. Tarkentuneiden ohjeiden ja vaatimusten pohjalta suunnittelijat voivat kehittää monipuolisempia ja entistä tiiviimpiä liitosratkaisuja.

Rakojen vaikutus ilmajääneristävyyteen

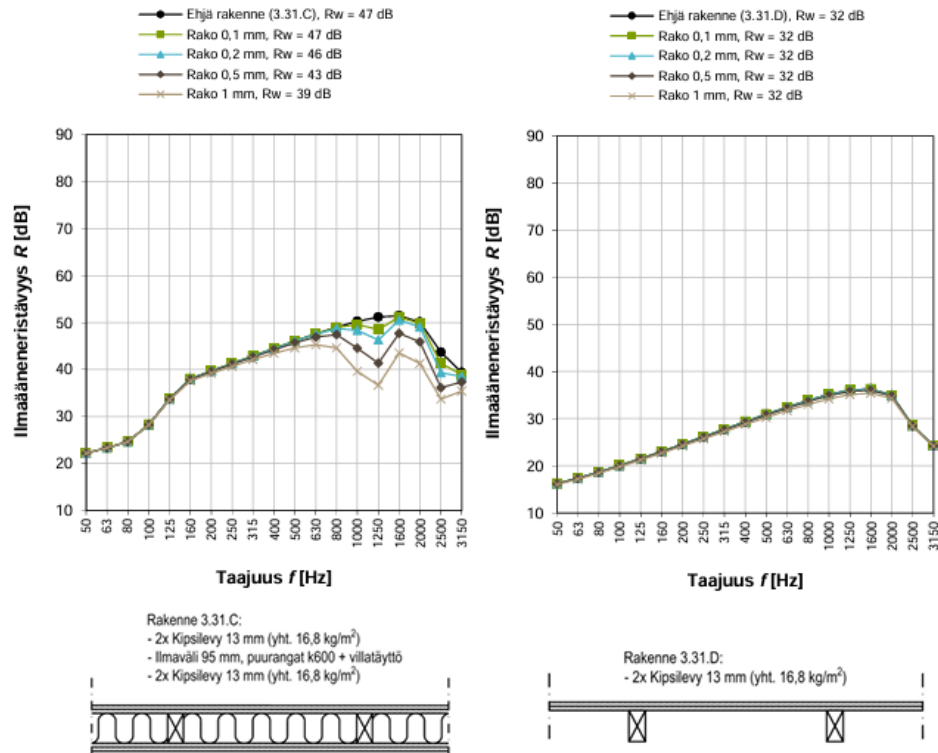
Rakojen vaikutus ilmajääneristävyyteen on suurempi toteutusvaiheessa kuin mitä suunnitelmissa on esitetty. Usein tähän on syynä olosuhteiden muutos. Rakenteiden testaus suoritetaan ideaaliolosuhteissa laboratoriossa, ja malliasennus tehdään huolellisesti ilman työvirheitä (RIL 243-1-2007 2007, 86). Toteutusvaiheeseen siirryttäessä asennukseen astuvat mukaan resurssit, aikataulupaine ja olosuhteet.

Rakojen syntyy rakenteiden liitoskohtiin, kun saumoja ei tiivistetä huolellisesti. Usein rakojen löydetään kevyistä seinärakenteista sekä järjestelmäväliseinistä. Mikäli rakojen löydetään massiivisista rakenteista, on yleisin syy niille huonosti valetut liitokset. (RIL 243-1-2007 2007, 86.) Ilmajääneristystä ei voida saavuttaa rakenteen heikolla tiiviydellä. Liitoskohtien toteutuksessa rakojen tukkiminen täydellisesti on erittäin haasteellista, koska ne voivat olla vain muutamien millimetrin kokoisia, jolloin havaitseminen toteutusvaiheessa on hankalaa.

Kylliäinen ym. (2023) esittävät laskelmia yksinkertaisen ja kaksinkertaisen rakennusosan ilmajääneristävyyksistä Gompertsin (1964) ja Gompertsin ja Kihlmanin (1967) laskentamalleilla (kuva 2 ja kuva 3) siten, että rakenteessa on leveydeltään 0,1 mm ja 1 mm välillä vaihteleva rako, jonka pituus on 2,5 m. Ilmajääneristävyydet ehjälle rakenteelle on myös esitetty kuvissa. Kuvista voidaan havainnoida, että rakojen vaikutus ilmajääneristävyyteen alkaa suurilta taajuuksilta. Taajuusalue laajenee eli ilmajääneristävyys heikkenee, mitä leveämpi rako on. (Kylliäinen ym. 2023, 81.)



KUVA 2. Kuvassa raon vaikutus rakenteen laskennallisen ilmasteneristävyyteen. Ehjän rakenteen ilmasteneristysluku yli 60 dB ja pinta-alana 4 m x 2,5 m. Raon pituus rakenteen korkeus 2,5 m. Lähtökohtana on, että levyseinän ilmaväli on täysin ääntä absorboiva. (Kylliäinen ym. 2023, 81.)



KUVA 3. Kuvassa raon vaikutus rakenteen laskennallisen ilmasteneristävyyteen. Ehjän rakenteen ilmasteneristysluku alle 50 dB ja pinta-alana 4 m x 2,5 m. Raon pituus rakenteen korkeus 2,5 m. Lähtökohtana on, että levyseinän ilmaväli on täysin ääntä absorboiva. (Kylliäinen ym. 2023, 82.)

Rakojen syntymistä ei aina havaita, koska työvaiheita suoritetaan limittäin ja malliasennus tehdään vain kerran kohteessa. Laatutaso mahdollisesti laskee toleranssien kasvaessa, koska työ halutaan suorittaa mahdollisimman nopeasti taloudellisuus huomioiden. Mikäli rakenteeseen jää rakoja, on niiden tiivistäminen hidasta ja tarkkaa. Aikataulut ja resurssit on laskettu virheettömällä asennuksella, joten työntekijä tekee korjaukset rakenteeseen todennäköisesti taloudellisesti tappiollisesti ja viivästyttää kohteen aikataulua.

3.3 Rakenteelliset sivutiesiirtymät

Yleisimpiä rakenteellisia sivutiesiirtymän kulkureittejä ovat kevyet seinärakenteet, kevyet alakattorakenteet sekä ulkoseinärakenteet. Sivutiesiirtymäreittejä voi olla yhteensä 12, jos sivuavia rakenteita on neljä. Näiden lisäksi on vielä suora reitti tiloja yhdistävän rakenteen kautta (Kylliäinen ym. 2023, 85). Luku 12 muodostuu neljästä äänireitistä, jotka etenevät puhtaasti sivuavia rakenteita pitkin, neljästä äänireitistä, jotka kulkeutuvat väliseinää sivuavaan rakenteeseen sekä neljästä reitistä, jotka etenevät sivuavasta rakenteesta väliseinään. (Hongisto 2023, 126.)

Standardin EN 12354-1 mukaisessa sivutiesiirtymäreittien merkintätavassa ei huomioida kahden liitoksen yli meneviä äänireittejä. Takaseinää ei arvioida, vaikka ääntä sieltäkin säteilee, koska kokemusten mukaan toisen kertaluokan sekä tätä pidempien äänireittien laskuista pois jättäminen aiheuttaa sivutiesiirtymien aliarvioinnin 1–2 desibelillä. Muut virhelähteet ovat tätä suurempia, joten standardin mukainen tarkastelutapa on käytännön laskelmia ajatellen riittävä. (Hongisto 2023, 126–127.)

Tilaa rajaavat pinnat värähtelevät tilassa syntyvän äänilähteen vuoksi, ja siksi rakenteellista sivutiesiirtymää ei pystytä kokonaan estämään. Rakenteissa värähtely etenee runkoäänenä, ja sillä on rakenteissa äärettömän monta rakenteellista reittiä. Massan ja jäykkyyden lisäksi rakenteellista sivutiesiirtymää pystytään estämään toteuttamalla rakenteisiin saumoja, joissa rakenne katkaistaan esimerkiksi kumi-, mineraalivilla-, tai ilmakerroksella. (RIL 243-1-2007 2007, 106; Kylliäinen ym. 2023, 85.)

Betonirakenteisissa toimistorakennuksissa rakenteelliset sivutiesiirtymät eivät ole yleinen ongelma vaakasuuntaisen ilmaääneneristyksen kohdalla, koska suunnitelmassa olevat rakenteet ovat suunniteltu yleensä SFS 5907:2022 suositusten mukaisilla ilmanääneneristyksen arvoilla. Ilmaääneneristyslukujen suositukset eivät pääsääntöisesti ylitä 50 desibelin raja-arvoa, joten vaakasuuntaisesti rakenteelliset sivutiesiirtymät pysyvät hallinnassa. Vaakasuuntaiseen sivutiesiirtymään kiinnitetään enemmän huomiota, jos väliseinä erottaa kaksi yrittystä, koska silloin vaatimustaso ilmaääneneristykselle on korkeampi. (RIL 243-3-2008 2008, 73; SFS 5907 2022, 31.)

Sivutiesiirtymä kevyitä rakenteita pitkin

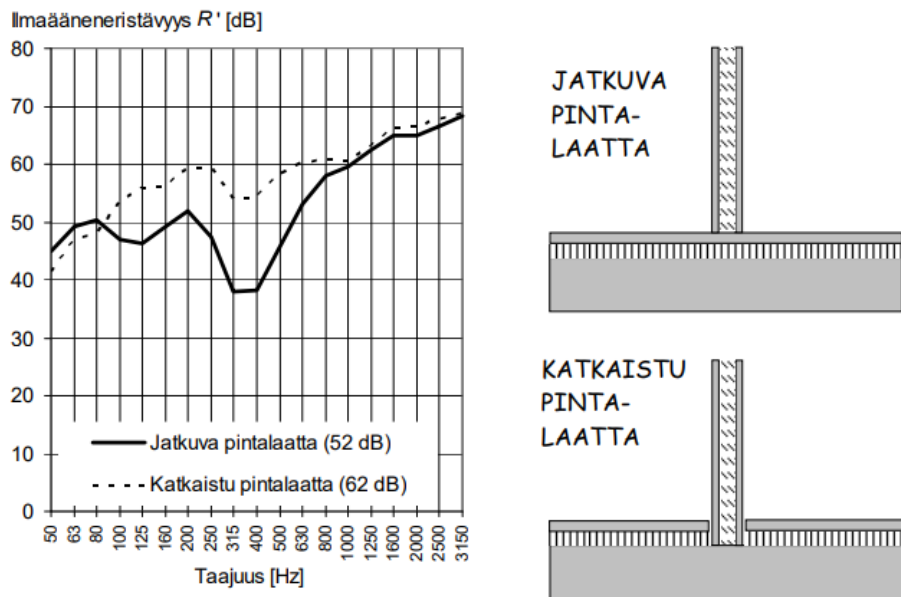
Kevytväliseinien liitoksissa tapahtuu rakenteellisesti sivutiesiirtymää riippuen si-
vuavien rakenteiden liitoksien toteutuksesta. Liitos voi olla äänen pääasiallinen
kulkeutumisreitti. Rakenteellinen sivutiesiirtymä yleensä heikentää ilmaään-
neristystä, joka tilojen välillä voitaisiin saavuttaa, jos liitokset ovat jäykkiä ja si-
vuavat rakenteet ovat massaltaan samaa luokkaa kuin tilojen välissä oleva väli-
seinä. (RIL 243-3-2008 2008, 73.)

Sivutiesiirtymäreitti muodostuu yleisimmin kevytrakenteista ulkoseinää, otsapin-
taa tai käytävän puoleista väliseinää pitkin, kun käsitellään kahden vierekkäisen
työhuoneen rakenteita. Toteutuksessa tulee huolehtia, että rakennuslevy katkais-
taan käytävän puoleisissa väliseinissä ja kevytrakenteisissa ulkoseinissä huo-
neita erottavan väliseinän kohdalta, jotta sivutiesuuntainen siirtymäreitti saadaan
minimoitua. (RIL 243-3-2008 2008, 73.)

Sisäkatto voidaan toteuttaa toimistoissa alas laskettuna tai ilman alas laskua.
Alas laskettua kattoa käytetään etenkin silloin, jos huonetiloja palvelevat LVIS-
laitteet halutaan asentaa piiloon sisäkaton yläpuolelle. (RIL 243-3-2008 2008,
76.) Jos kahdella vierekkäisellä huoneella on yhteinen alakatto, alakatolle määri-
tetään tilanteessa ääneneristävyys. Alakattoratkaisuja on kaksi. Se voi katketa
väliseinän kohdalta tai jatkua yhtenäisenä väliseinän yli. Yhtenäinen alakatto,
joka jatkuu väliseinän yli, heikentää ääneneristävyyden tulosta. Äänen kulkeutu-
minen alakattojen kautta on yksi sivutiesiirtymän muoto. (RIL 243-1-2007 2007,
101–102.)

Alakattojen ja seinien välinen liitos on erittäin herkkä äänivuodoille, koska työn-
toteutus suoritetaan työskentelytason päältä pää ylöspäin katsoen. Lisäksi käsillä
joudutaan työskentelemään pään yläpuolella, jonka seurauksena työn laatu voi
heikentyä vaikean työskentelyasennon seurauksena. Laadun heikentymisen
vuoksi liitokseen voi jäädä rakoja, joita ei kyetä havaitsemaan työskentelyasen-
nosta johtuen.

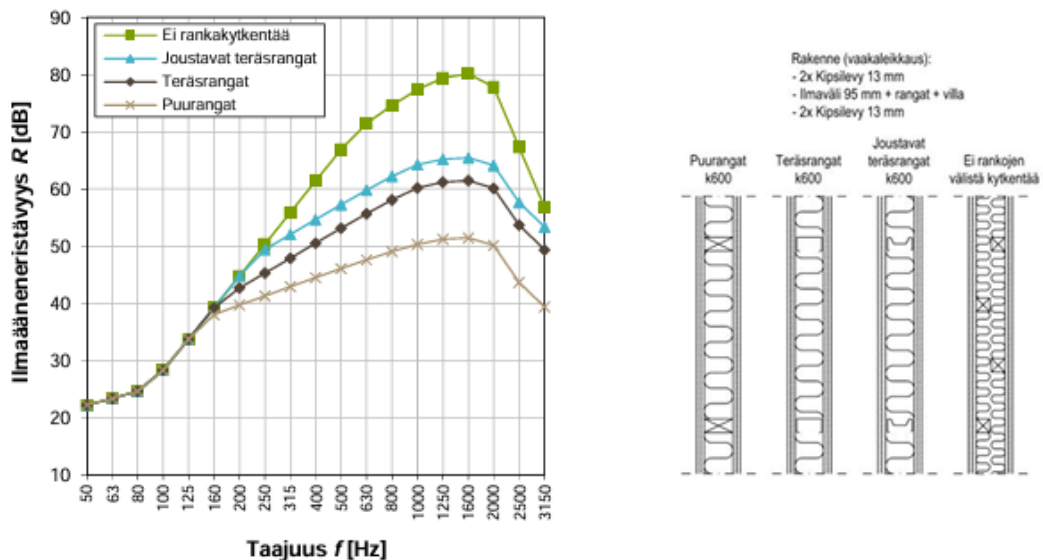
Ilma- ja askelääneneristysten korottamiseen käytetään kelluvia lattiaita. Niiden pintalaatat ovat aina suhteellisen kevyitä verrattuna niiden alla olevaan kantavaan rakenteeseen. Vaakasuuntaisen sivutiesiirtymän estämiseksi tulee kelluva pintarakenne katkaista väliseinän kohdalta (kuva 4). (Hongisto 2023, 130.) Ilmaääneneristävyys rakenteissa heikkenee merkittävästi, jos pintalaatta on jatkuva. Vaikutukset huomataan etenkin naisten normaalin puheäänien taajuuksilla. Katkaistussa pintalaatassa liitokset on mahdollista saada tiiviimmiksi, koska seinärakenteen ja välipohjan liitos jää pintalaatan alle.



KUVA 4. Pintalaatan (60 mm betoni) katkaisun tehokkuus ilmaääneneristävyyteen (Hongisto 2023, 131).

Kelluvien rakenteiden rakentaminen vaatii huolellisuutta ja detaljien kanssa tarkkaavaisuutta. Jäykät kytkökset kelluvan rakenteen ja rakennusrungon välillä ei ole sallittuja, koska ne tekevät värähtelyn vaimentamisen näkökulmasta kelluteusta rakenteesta hyödyttömän. Tämä tulee huomioida muun muassa läpivientien ja kiinnitysten osalta, jotta ne eivät kytke kelluvaa rakennetta jäykästi rakennusrunkoon. (Kylliäinen ym. 2023, 198.) Rakenteissa olevat läpiviennit heikentävät usein rakenteiden välillä olevien liitoksien toimivuutta, koska äänelle syntyy uusi mahdollinen kulkureitti läpiviennistä. Uusi kulkureitti rakenteen läpi tarkoittaa, että ääni pääsee mahdollisesti läpiviennin kohdalta sisään rakenteeseen ja poistumaan rakenteesta toisessa tilassa liitoksen kohdalta, jolloin tilojen välille on syntynyt äänivuoto.

Rakenteen rungolla on vaikutusta eristävyyteen. Ilmaääneneristävyys paranee, jos runko on kaksinkertainen yksinkertaisen rungon sijaan. Käytännössä tämä tarkoittaa, että levytyksillä on oma, toisesta puoliskosta erilliset rungot (Kuva 5). Kaksinkertaisen rakenteen laskentakaavat perustuvat Kylliäisen ym. (2023) mukaan siihen, että rakenteen puoliskojen välillä ei ole mitään kytkentöjä. Lisäksi rankojen jäykkyys vaikuttaa heikentävästi saavutettavaan ilmaääneneristävyyteen, kun rangat tulevat jäykemmiksi. (Kylliäinen ym. 2023, 72.)



KUVA 5. Erilaisten rankojen joustavuuden vaikutus laskennallisen ilmaääneneristävyyteen. Lähtökohtana on, että ilmaväli on täysin ääntä absorboiva ja pinta-alana käytetty 10 m². (Kylliäinen ym. 2023, 72.)

3.4 Tilojen muuntojoustavuus liitoksien näkökulmasta

Toimiston pohjaratkaisulta ja rakenteilta vaaditaan joustavuutta, jotta organisaatiomuutokset, projektimuotoinen työskentely ja työn sisällön kehittyminen ovat mahdollista. Kiinteistöjä omistavat yritykset suosivat avotoimistoja, koska niissä voidaan helpoiten muokata työtiloja vuokralaisen tarpeita vastaaviksi. Työpisteet eivät ole enää kaikilla kiinteitä, vaan se valitaan kulloisenkin työtehtävän vuorovaikutus- ja keskittymisvaatimusten tai oman mieltymyksen mukaan. Vaihtoehtoina työpisteeksi ovat avoin toimistotila, yhden hengen huone, kiinteärakenteinen tai liikuteltava vetäytymistila, pienneuvotteluhuone, parityöhuone, hiljaisen työn avotilasta tai vuorovaikutteiden työn avotilasta, sen mukaan mitä yrityksen tiloissa on tarjolla. (Kylliäinen & Hongisto 2019, 17.)

Muuntojoustavuus rakentamisessa on monialainen käsite sisältäen muunneltavuuden eli muutokset rakennusteknisesti sekä monikäyttöisyyden eli muutokset ilman rakennustekniikkaa. Samassa tilassa voidaan toimistotiloissa työskennellä yksin, kaksin tai ryhmässä ja päivän päätteeksi järjestää esimerkiksi yrityksen illanistujaiset. Muuntojoustavuudella tavoitellaan tilan käyttöasteen lisäämistä sekä rakennuksen pidemmän käyttöiän takaamista. Muuntojoustavuus yhdistetään puheissa kestäväan kehitykseen. Kestävää kehitystä ei kuitenkaan voida saavuttaa, jos rakentaminen ei ole laadukasta. Muuntojoustavien tilojen kohdalla tämä näkyy vahvasti liitoksien toteutuksessa, jotta tilan olosuhteet kestävät erimäärän ihmisiä, erilaisia äänitasoja ja palvelee silti halutulla tavalla.

Järjestelmäväliseinät

Järjestelmäväliseinä on ääneneristyksen kannalta haasteellinen, koska se pitää olla helposti asennettavissa sekä purettavissa. Järjestelmäväliseinät ovat tyypillisesti valmiita väliseinäelementtejä, joiden korkeus on hieman vähemmän kuin huonetilan korkeus. Sivusuuntaisesti järjestelmäväliseinät saadaan asennettua tiiviisti puskuponttien ansiosta, mutta korkeussuunnassa ja seinän laidoilla ääneneristys on haasteellisempi toteuttaa. Järjestelmäväliseinän tiivistämisessä ei käytetä sauma-aineita, jotta niistä ei jäisi jälkiä. Siksi tiivistämiseen käytetään ainoastaan listoja sekä tiivistenauhoja, lukuun ottamatta suurempia rakoja, jotka tilkitään ennen listan asennusta. (RIL 243-1-2007 2007, 93.)

Järjestelmäväliseinistä on otettu mittauksia käytännössä, ja ne ovat osoittaneet, että ääneneristävyysarvot vaihtelevat runsaasti liitoksien osalta johtuen tiivistystyön laadunvaihtelusta. Muita syitä arvojen vaihtelulle ovat seinäpintojen ja kattojen vinous, joka estää hyvän tiiviyn saavuttamisen ilman kosteita tiivistysmenetelmiä. (RIL 243-1-2007 2007, 93.)

Siirtoseinät

Siirtoseiniä käytetään tiloissa, joissa halutaan helposti yhdistää kaksi tilaa yhdeksi suureksi tilaksi. Siirtoseiniä käytetään toimistotiloissa, jotta tiloista saadaan monikäyttöisemmät. Siirtoseinät asennetaan kiskojen varaan ja elementit ovat helposti liikuteltavissa sitä pitkin. Siirtoseinissä elementtien liitosten tiiviys toimii pystysuuntaisesti ja ylä- ja alasaumoissa tiivisteillä, jotka painuvat tiiviiksi, kun elementti kiristetään. (RIL 243-1-2007 2007 95-96.)

Siirtoseinien kehysrakenteet tulee rakentaa suoriksi, jotta voidaan saavuttaa hyvä tiiviys. Siirtoseinien puutteet ääneneristyksen osalta ovat samanlaisia kuin ovissa ja järjestelmäväliseinissä. Kaikissa näissä kolmessa ratkaisussa ääneneristys vuotaa yleisimmin liitoksesta. (RIL 243-1-2007 2007, 96.) Siirtoseinät ovat kehittyneet, ja eristävät ääntä lähes yhtä hyvin kuin kevyt väliseinä, jos asennus on tehty laadukkaasti. Siirtoseiniä suositaan toimistoissa, koska ne lisäävät rakennuksen käyttöikää tilojen muunneltavuuden ansiosta.

Ääneneristävyys voi olla puutteellinen siirtoseinällä erotetuissa tiloissa muun muassa seuraavista syistä:

- siirtoseinästä vuotaa ääntä yläkiskojärjestelmän kautta
- elementit eivät tiivisty toisiaan vasten riittävän hyvin ja siksi saumat vuotavat ääntä
- ääniä kantautuu sivuavia levyrakenteita pitkin
- kehyskotelot, jotka on rakennettu siirtoseinää varten, eristävät ääntä heikosti
- huoneiden välille on asennettu äänenvaimentamaton ilmanvaihtokanava
- siirtoseinään on asennettu ovi, jonka ääneneristävyydelle ei ole vaatimuksia
- siirtoseinän tiivisteet eivät pääse painumaan tarkoituksenmukaisesti seinäpintoja ja lattiaa vasten, jos pinnat ovat epätasaisia. (RIL 243-1-2007 2007, 96.)

3.5 Rakenteiden yhteisääneneristävyys

Tiloja erottava rakenne voi muodostus eri komponenteista, kuten ovesta, seinästä ja ikkunasta. Tällöin rakenteen ilmaääneneristävyys on näiden komponenttien yhtälö, jolloin rakenteelle ei voida käyttää valmiiksi annettua arvoa, vaan suunnittelija laskee ilmanääneneristävyys arvon rakenteelle. (RIL 243-1-2007 2007, 102–103.) Rakenteen muodostuessa useasta eri komponentista, liitoksien määrä rakenteessa kasvaa. Ovien ja ikkunoiden sekä seinän väliset liitokset ovat merkittävässä asemassa toimistotilojen työskentelytilojen rakennusakustiikkaa tarkasteltaessa. Syynä merkittäviin vaikutuksiin ovat tilojen pinta-alan suhde liitoksien määrään verrattuna.

Ovet

Neuvotteluhuoneiden oviin tulee asentaa kynnykset ja tiivisteet, ilmaääneneristyksen vaatimusten täyttämiseksi. Mikäli neuvotteluhuone on osoitettu erittäin luottamuksellisten neuvotteluiden käymiseen, ilmaääneneristysarvot kasvavat. (RIL 243-3-2008 2008, 42.) Toimistorakennuksissa käytetään ovia, jotka kestävät kulutusta ja eristävät ääntä hyvin. Suunnitelmissa esitetään väliovien vaatimukset äänieristyksen ja paloturvallisuuden osalta. Luokitelluiden ovien tulee täyttää viimeisimmät rakennusalan paloturvallisuus- ja äänieristysvaatimukset. Toimistorakennusten luokiteltuja ovia valmistavat Suomessa esimerkiksi Skaala ja JELD-WEN. (Skaala n.d.; JELD-WEN Suomi 2023).

Luokiteltujen ovien asennus on tehtävä huolellisesti, jotta rakenne on tiivis eikä vuoda liitoksista. Toimistojen väliovet ovat uudisrakentamisessa lähes kaikki luokiteltuja ääneneristyksen osalta. Luokitellun oven karmi kiinnitetään seinään säätökarmi- tai puuruuveilla. Ääniluokiteltujen ovien karmin ja seinän välinen rako ja kynnyks on tiivistettävä tilkitseminen lisäksi tarkasti saumamassalla. Jos saumamassaan jää pienikin rako, aiheuttaa se äänivuotoa rakenteeseen. (JELD-WEN Suomi 2020.)

Väliseinälasit

Toimistoissa voidaan korvata umpinainen väliseinä lasiseinällä. Usein tähän ratkaisuun päädytään, jotta suljettuun tilaan saadaan luonnonvaloa sekä avaruutta. Väliseinälasitukset ovat kehittyneet asetusten ja ohjeiden mukana. Tänä päivänä ne pystyvät täyttämään tiloille annetut ääneneristysvaatimukset, jos elementit on asennettu oikein ja huolellisesti. Väliseinälasisiin asennetaan teippauksia, jotta tiloihin saadaan yksityisyyttä ja ne havainnoidaan tiloissa liikkeessä (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1007/2017 2017).

Ikkunat

Ikkunoiden ensisijainen tehtävä on luonnonvalon päästäminen tilaan. Ikkunat ovat kehittyneet vuosien saatossa, ja niiden energiatehokkuus on parantunut. Ikkunoiden tulee suojata sääilmiöiltä sisätiloja ja siellä työskenteleviä henkilöitä säiden vaihtelulta, ympäristön melulta sekä olla turvallinen. (Heikkilä 2020, 41–42.)

Suunnittelijat ovat perehtyneet vaatimukseen ja suositukseen lasivalintoja tehdessä, koska ratkaisut vaikuttavat LVI-laitteiston kokoon ja siten rakennuksessa tarvittavan lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutukseen sekä sisäilmastoon. Lasivalinta vaikuttaa edellä mainittujen lisäksi sisätiloihin tulevan luonnonvalon määrään ja häikäisyyn sekä rakennuksen ääniolosuhteisiin, suojaukseen ilkivaltaa ja murtautumista vastaan, palonsuojaukseen palon rajoittamiseksi, käyttöön ja huoltoon sekä henkilöturvallisuuteen. (Heikkilä 2020, 40.)

Laboratoriossa mitataan rakennusosien kuten ikkunoiden ilmaääneneristysluvut tie- tai muuta liikennemelua vastaan. Rakennukseen asennettuina ikkunat eivät tuota yhtä hyviä ilmaääneneristyslukuja asennustyössä tapahtuvien epätarkkuuksien, sivutiesiirtymien ja tiivisteiden kulumisen ja vanhenemisen vuoksi (rakennukseen asennettuina) kuin mitä laboratoriossa. Tämä otetaan huomioon kohteeseen asennettavan ikkunan kohdalla laskentavaiheessa pienentämällä ilmaääneneristyslukuja 3 dB laboratorioarvoista. (Kylliäinen ym. 2023, 163.)

4 MÄÄRÄYKSET JA OHJEET

4.1 Velvoittavuuksien tasot

Ympäristöministeriön asetuksessa 796/2017 asetetaan vaatimukset uuden rakennuksen ääniolosuhteille. Rakennuksessa, jossa on toimistotiloja, ”ääniolosuhteet on suunniteltava ja toteutettava siten, että tilassa saavutetaan sen käyttötarkoitus huomioon ottaen riittävä puheenerotettavuus.” (Ympäristöministeriön asetus 796/2017 2017.)

”Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksen myötä ympäristöministeriön asetus ja ohjeet sekä oppaat jakautuvat velvoittavuuden suhteen kolmeen tasoon” (Kylliäinen ym. 2023, 26). Velvoittavana asiakirjana toimii ääniympäristön asetus 796/2017 (YMa 769/2017). Vuonna 2018 julkaistu ääniympäristöohje toimii asetusta täydentävä asiakirjana, jossa annetaan asetusta laajemmin akustisia ohjearvoja erilaisille tilatyypeille (YMo 2018). Ympäristöministeriön oppaat ovat kolmannella tasolla. Niissä esitetään suunnittelumenetelmiä tai ilmiö- ja tilakohtaisia suunnitteluohjeita (Sipari & Saarinen 2003, Lietzén & Kylliäinen 2014, Kovalainen & Kylliäinen 2014, Kylliäinen & Hongisto 2019). Myöskään oppaat eivät ole velvoittavia, joten muitakin menetelmiä voidaan suunnittelussa käyttää, kunhan ne ovat dokumentoitavissa. (Kylliäinen ym. 2023, 26.)

4.2 Yleiset määräykset ja ohjeet toimistoissa

Ääniympäristöasetuksen 796/2017 soveltamisalaan kuuluvilta toimisto- ja kokoustiloilta edellytetään asetuksessa määräyksenä edellä mainittujen tilojen ääneneristävyyden, huoneakustiikan ja meluntorjunnan vastaavan käyttötarkoitustaan ja tuottavan riittävän hyvän ääniympäristön. Toimistorakennuksen tilojen välisille ääneneristävyyksille, toimistohuoneiden ja avointen toimistotilojen huoneakustiikalle sekä talotekniikan melutasoille on annettu ohjearvoja ääniympäristöohjeessa (YMo2018). (Kylliäinen ym. 2023, 227.) Yhteiskunnan toimesta rakennusten ääniolosuhteisiin vaikutetaan muun muassa lainsäädännön ja määräysten kautta. Ääniolosuhteisiin halutaan vaikuttaa, koska niillä on merkitystä kansanterveyden ja -talouden kannalta.

Ääniympäristöasetuksen (YMa 796/2017) julkaisemisen myötä standardin SFS 5907 ensimmäinen painos (2004) ei ollut enää ajan tasalla. Ääniympäristöasetuksessa tilojen välisen ääneneristävyyden määrittelevät mittaluvut muuttuivat, jonka seurauksena todettiin, että standardin ensimmäisessä painoksessa oleva neliportainen laatuluokitus oli liian hienojakoinen. Siksi akustisia luokkia on kolme standardin toisessa painoksessa (SFS 5907:2022). Standardi SFS 5907 (2004) ei ollut myöskään tärinä- ja runkomelutasojen ohjearvoja kaikille rakennus- ja tilatyypeille. (Kylliäinen ym. 2023, 29–30.)

Toimistotiloissa taloteknisistä järjestelmistä syntyvän melun ohjearvot ovat

- keskiäänitasolle $L_{Aeq,T} = 33$ dB
- enimmäisäänitasolle $L_{AFmax,T} = 38$ dB (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018, 32).

Maankäyttö- ja rakennuslakiin (132/1999) tehtiin vuonna 2012 muutoksia, joissa laki edellyttää, että rakenteiden ääneneristävyyden ja taloteknisten laitteiden äänitason ja asennusten on oltava sellaisia, että rakennuksessa oleskelevien lepo ja uni eivät häiriinny ja rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen toiminta on mahdollista ääniolosuhteiden puolesta (Kylliäinen ym. 2023, 25). Taloteknisten järjestelmiä koskevat ohjearvot ovat tarkentuneet vasta viimeisen ohjeen myötä toimistojen osalta. Sitä ennen ohjeet ovat käsitelleet toimistotiloja yleensä sanallisesti tai rinnastanut muiden käyttötarkoitusten ohjearvoihin.

Askeläänitasoluvun $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ ohjearvo ympäristöministeriön ohjeessa rakennuksen ääniympäristölle toimistorakennuksessa kerrosten välillä yleensä on 63 dB (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018, 23). Askeläänitasoluvun määräykset ja ohjeet on annettu standardisoituna askeläänitasolukuina ympäristöministeriön asetuksessa 796/2017 ja ympäristöministeriön ohjeessa rakennuksen ääniympäristöstä 2018. Standardisoitu luku johtuu kenttämittauksista, joissa käytetään Suomessa standardisoituja mittalukuja, jotka vastaavat normaaleja mittalukuja paremmin äänen siirtymistä vastaanottohuoneeseen. (Kylliäinen ym. 2023, 103.)

Standardi SFS 5907:2022 ohjeavot

Standardi päivittyi uuden ääniympäristöasetuksen (YMa 796/2017) antamisen myötä ensimmäisestä painoksesta (SFS 5907:2004) toiseen painokseen (SFS 5907:2022). Standardin otsikkona oli ensimmäisessä painoksessa ”Rakennusten akustinen luokitus” (SFS 5907:2004). Toisessa painoksessa standardin otsikko on ”Rakennusten suunnittelu ja luokitus” (SFS 5907:2022). (Kylliäinen ym. 2023, 29–30.)

Standardi SFS 5907:2022 antaa ääniympäristöasetusta laajemmin erilaisille rakennustyypeille suositusarvoja. Lisäksi standardissa käsitellään erikseen tärinäherkkiä laitteita ja toimintoja. Standardissa esitetään suositusarvoja huoneakustiikalle, talotekniikan melutasoille, askel- ja ilmaääneneristävyydelle, liikennemelutasoille sekä liikenteen tärinä- ja runkomelutasoille. (Kylliäinen ym. 2023, 29–30.)

”Standardi jakaa tilat kolmeen luokkaan:

- Luokka A2 vastaa ääniympäristöasetuksessa säädettyjä velvoitteita
- Luokkaa A1 johtaa säädöstasoa parempaan ääniympäristöön
- Luokka A3 on tarkoitettu vain vanhojen rakennusten luokitteluun” (Kylliäinen ym. 2023, 29).

Standardin 5907:2022 ohjeavon mukaan suurimmat sallitut rakennuksen ulkopuolisen äänilähteen aiheuttamat keskiäänitasot $L_{Aeq,T,07-22}$ ovat toimisto- ja taukotiloissa uudisrakentamisessa 40 dB luokassa A2 ja neuvottelutiloissa 35 dB (SFS 5907 2022, 32).

Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista

Valtioneuvoston päätöksessä 993/1992 on esitetty sallittavat melutasot rakennuksen ulkopuolisesta äänilähteestä sisätiloissa ja ulkona. Päätöksellä on tarkoitus ehkäistä meluhaittoja ja turvata ympäristön viihtyisyyttä maankäytön, liikenteen ja rakentamisen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyissä. (RIL 243-1 2007, 21.) Lisäksi tärinää ja runkomelua koskevia suosituksia on standardin SFS 5907 toisessa painoksessa (2022) (Kylliäinen ym. 2023, 30).

Meluntorjuntaratkaisuihin mainitaan selvitykset rakennuksen julkisivussa olevien rakennusosien osalta – ikkunat, ikkunaovet ja ulkoseinärakenteet –, jotta ne täyttävät kokonaisuudessaan asemakaavassa esitetyn rakennuksen ulkokuoren ääneneristysvaatimuksen. Meluntorjuntaratkaisujen toteutumista, jotka esitetään asemakaavassa, valvotaan rakennuslupavaiheessa. (Kylliäinen ym. 2023, 144.)

Valtionneuvoston päätöksen 993/1992 melutason ohjearvoista mukaan rakennuksen ulkopuoliset melulähteet eivät saa aiheuttaa terveyttä vaarantavaa melua rakennuksen sisälle. Toimistotiloissa työskennellään yleisesti ottaen vain päiväaikaan, joten liike- ja toimistohuoneissa sovelletaan ainoastaan päiväohjearvoa 45 dB. Valtionneuvoston päätöksen mukaiset ohjearvot pohjautuvat melun terveysvaikutuksiin, ja siten ne eivät automaattisesti takaa viihtyisyyttä melualueille rakennettaessa. (Kylliäinen ym. 2023, 145.)

4.3 Tilakohtaiset suositukset

Tilakohtaisissa suosituksissa esitellään erilaisten tilojen suositukset Standardin SFS 5907 mukaisesti. Tilakohtaiset ohjeet ovat liitoksien kannalta kaikista tärkeimpiä, koska niiden avulla pyritään takaamaan keskittymisrauha sekä sallimaan normaalien keskustelujen käyminen luottamuksellisena. (RIL 243-3 2008, 33.) Suunnitelmissa ilmenee jokaisen tilan tavoitearvot ja ratkaisut, joilla kyseiset arvot kohteessa saavutetaan.

Toimistohuoneet

Toimistohuoneessa työskenteleville pyritään takaamaan keskittymisrauha ja mahdollisuus käydä keskustelut luottamuksellisina. Työtehtävien vaatavuus- ja luottamustaso ratkaisevat ilmastoineneristykseen tason. Ympäristöministeriö on antanut ohjearvot toimistotiloissa ilmastoineneristävyydelle (taulukko 1). LVIS-äänitaso ja jälkikäiunta-ajan tulee olla sellaiset, että huoneessa pystytään käymään normaali keskustelu häiriintymättä. (RIL 243-3 2008, 33–37.) Toimistohuonetta koskevat keskeiset suositukset on esitetty standardissa SFS 5907:2022.

TAULUKKO 1. Ympäristöministeriön ohjearvot toimistotiloissa ilmanääneneristävyydelle äänitasoerolukuna $D'_{nT,w}$ (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018, 22, muokattu).

Tilatyyppe	Ohjearvo Äänitasoeroluku $D'_{nT,w}$ (dB)		
	Ympäröiviin tiloihin yleensä	Toiseen käyttötarkoitukseltaan saman tyyppiseen tilaan ^{b)} , kun välissä on ovi	Käytävään tai aulaan, kun välissä on ovi
Toimistohuone ^{d)}	40	40	30
Toimistorakennuksessa kahden eri toimijan välillä	52	-	-

b) Jos vierekkäin sijaitsevista tiloista toisessa on äänekästä toimintaa tai äänekäitä laitteita, ääneneristystarve voi olla suurempi.

d) Kerrosten välillä äänitasoeroluvun ohjearvo on 52 dB perustuen muuntojoustavuuteen ja suurempaan ääntä välittävään pinta-alaan.

Jälkikaiunta-aika on tilan akustinen ominaisuus. Äänilähteen sammumisesta hetkeen, jolloin äänenpainetaso on vaimentunut 60 desibeliä, kutsutaan jälkikaiuntaajaksi (Kylliäinen & Hongisto 2019, 31). Jälkikaiunta-ajan ohjearvon mukaan jälkikaiunta-aika T saa olla korkeintaan 0,8 sekuntia toimistohuoneissa (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018, 37).

Ilmanvaihtokanavien asennus tulee tehdä suunnitelmien mukaisesti ja kiinnittää huomiota kanaviston ja rakenteiden liitäntään runkomelun välttämiseksi. Seinärakenteiden ääneneristystä pitää korottaa, jos ilmastointimelun äänitasot mitoitetaan liian alhaisiksi. Ilmastointimelu on harvoin toimistoissa valituksen kohteena, jos äänitasot ovat alle 40–45 dB. (RIL 243-3 2008, 36.)

Avotiloimistot ja neuvottelutilat

Liitoksien vaikutus avotiloimistojen akustiikkaan on pienempi kuin erilaisten työhuoneiden. Syynä tähän ovat laajemmat työskentelyalueet, jolloin työpiste voi sijaita etäällä rakenteiden liitoksista. Seinien, työhuoneiden tai otsapintojen läheisyyteen sijoitettaviin työpisteisiin liitokset kuitenkin vaikuttavat.

Toimistotiloissa on annettu ohjearvoja jälkikaiunta-ajalle ja puheensiirtoindeksille. Avoimissa toimistotiloissa jälkikaiunta-ajan T ohjearvo on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,6 sekuntia. Puheensiirtoindeksin STI ohjearvo avoimissa toimistotiloissa on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,5 sekuntia. (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018, 37.)

Akustiset suunnittelutavoitteet neuvottelutilojen osalta liittyvät luottamuksellisuuteen ja yksityisyyteen sekä hyvään puheenerottavuuteen. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä (2018) ja standardi 5907 (2022) ohjeistavat neuvottelutilojen äänitasoeroluvun $D_{nT,w}$ olevan vähintään 48 dB ympäröiviin tiloihin yleensä. (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018, 22; SFS 5907 2022, 30; Kylliäinen ym. 2023, 232.)

Rakennukseen voi kuulua vetäytymistiloja, jotka ovat kiinteitä tai liikuteltavia. Äänitasoeroluku D_{nT} ohjearvo kiinteille vetäytymistiloille on 40 dB. Vetäytymistilat, jotka ovat liikuteltavia voivat olla suljettuja tai puoliavoimia. Puoliavoin tarkoittaa, että tilassa on avoin sivu. Suljetulle tai puoliavoimelle vetäytymistilalle ei ole annettu akustisten ominaisuuksien osalta vaatimuksia ohjearvoina. (Kylliäinen & Hongisto 2019, 41.)

Ympäristöministeriön asetuksessa on annettu lasirakenteille määräys, ”että ikkunat, lasiseinät ja lasiovet, joihin on vaara törmätä, on merkittävä siten, että ne havaitaan helposti. Niiden lasitukset on tehtävä turvalasista” (Ympäristöministeriön asetus 1007/2017). Toimistotiloissa on paljon lasirakenteita esimerkiksi väliseinärakenteissa, joihin on riski törmätä.

5 LIITOSTYYPIT

5.1 Betonirakenteiden liitostyypit elementtirakentamisessa

Rakenteiden liitoksien suunnittelun lähtökohtana on, että liitos toimii suunnitellulla tavalla ja jaksaa kaikki sille tulevat rasitukset. Liitoksen pitää täyttää tekniset, esteettiset, taloudelliset, pitkäaikaiskestävyyteen ja työturvallisuuteen liittyvät asiat. (Elementtisuunnittelu, 2023.) Betonirakenteiden liitokset vaikuttavat toimistorakentamisessa rakennusakustiikkaan julkisivumittauksissa sekä jäykistävien rakenteiden ympärillä. Lisäksi ne vaikuttavat pystysuuntaisesti kerrosten välillä.

Liitostyyppejä on erilaisia ja materiaaleille soveltuvat erilaiset liitostavat sijainnin mukaan. Suunnitelmista selviää, mitä liitosta rakenteessa tulee käyttää. Mikäli liitosta ei ole mahdollista toteuttaa suunnitelmien mukaisesti, siihen kysytään suunnittelijalta vaihtoehtoinen ratkaisu. Betonirakenteiden liitosten toteuttaminen suoritetaan pääasiassa runkovaiheessa, jonka vuoksi sisävaiheen työnjohto ei ole tarkastelemassa työnjälkeä. Betonirakenteiden liitostyyppien tietäminen on sisävaiheen työnjohdolle tärkeää, jotta liitokset kantavien ja kevyiden rakenteiden välillä toteutetaan oikein esimerkiksi pilarin ja väliseinän välille.

Yleisimpiä liitostyyppejä betonirunkoisessa elementtirakentamisessa ovat

- valuliitos
- pulttiliitos
- hitsausliitos, jota käytetään, kun pultti- tai juotosliitosta ei voida käyttää
- vaarnatappiliitos, jossa yhdistyy juotos- ja tappiliitos. (Elementtisuunnittelu, 2023.)

Betonielementtien käytetyin liitostapa on valuliitos. Betonin lisäksi juotosliitoksessa on yleensä raudoitus. Raudoituksen tarkoituksena on sitkottaa elementtien juotossaumaliitoksia. Saumabetoneille ja laasteille on omat vaatimukset sekä valintataulukko. Juotosliitoksia käytetään betonielementtirakentamisessa yleisesti Elementtisuunnittelun (2023) mukaan

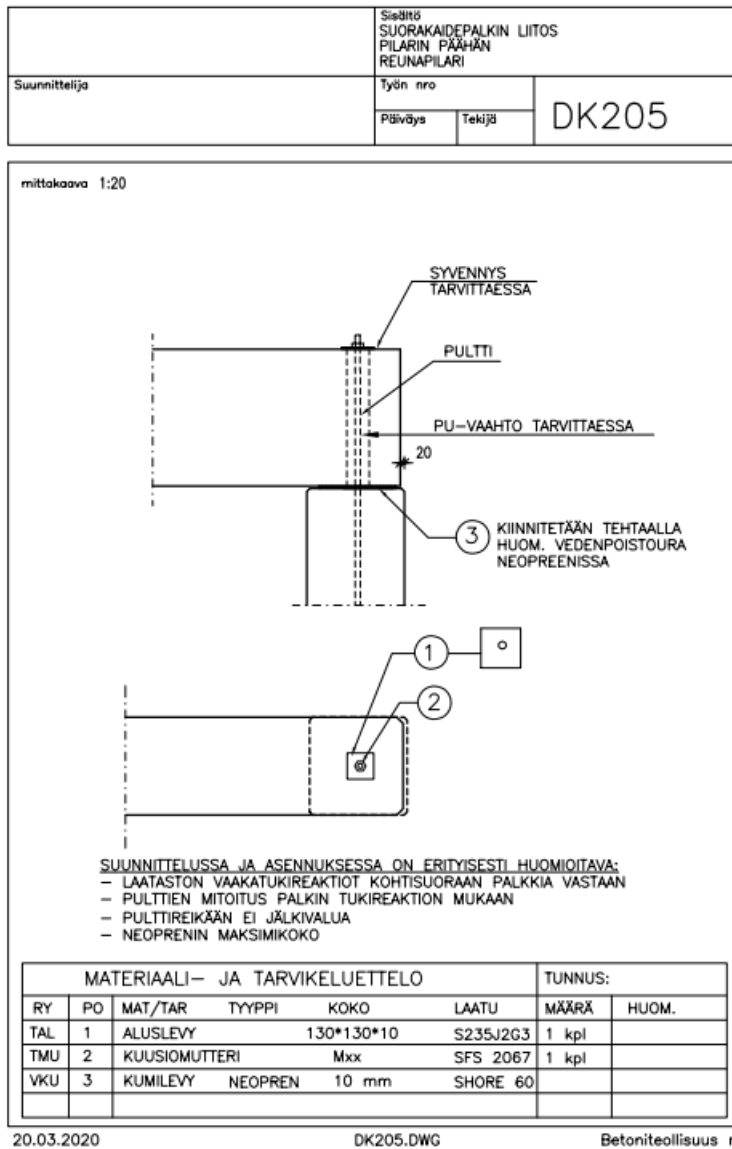
- elementtilaattojen välisissä saumoissa
- seinien välisissä vaaka sekä pystysaumoissa
- pilarien alapäiden juotoksissa
- laattojen ja palkkien välisissä saumoissa. (Elementtisuunnittelu 2023, liitostyyppit.)

Betonielementtirakentamisessa käytetään pulttiliitoksia. Oikein suunniteltuina pulttiliitosten etuja ovat asentamisen nopeus, toimivuus ja niiden käyttäminen on edullista. Pulttiliitoksia suunniteltaessa tulee kiinnittää poikkeuksellisen paljon huomiota rakenteisiin liittyvien toleranssien kanssa. Pulttiliitokset saattavat olla osa rakennuksen jatkuvan sortumisen estävästä sidejärjestelmästä. Pulttiliitoksia käytetään elementtisuunnittelun (2023) mukaan paljon betonielementtirakentamisessa

- pilarien liitoksissa perustuksiin
- palkkien liitoksessa pilariin
- gerber-palkkien pulttiliitoksissa
- jäykistävän seinäelementin pulttiliitoksissa
- julkisivuelementin liitoksessa pilariin. (Elementtisuunnittelu 2023, liitostyyppit.)

Pilarin liitos perustuksiin tehdään yleisimmin pulttiliitoksella. Toleranssien kanssa tulee olla tarkkana, koska liitos on arka toleranssien ylitykselle. Työnaikaisia sabluunoita tulee käyttää peruspulttien asennuksen yhteydessä. Pilarin pulttiliitoksen asennustoleranssit tulee löytyä piirustuksista ja ne löytyvät teräsovalmistaajan ohjeista. Pilarin pulttiliitos mitoitetaan asennusvaiheelle ja lopputilan kuormitukselle erikseen, koska asennusvaiheessa pilarin pulttiliitoksen kapasiteetti on mahdollisesti huomattavasti pienempi, jos pilarin alusvalun kovettuminen on vielä käynnissä. (Elementtisuunnittelu 2023, liitostyyppit.)

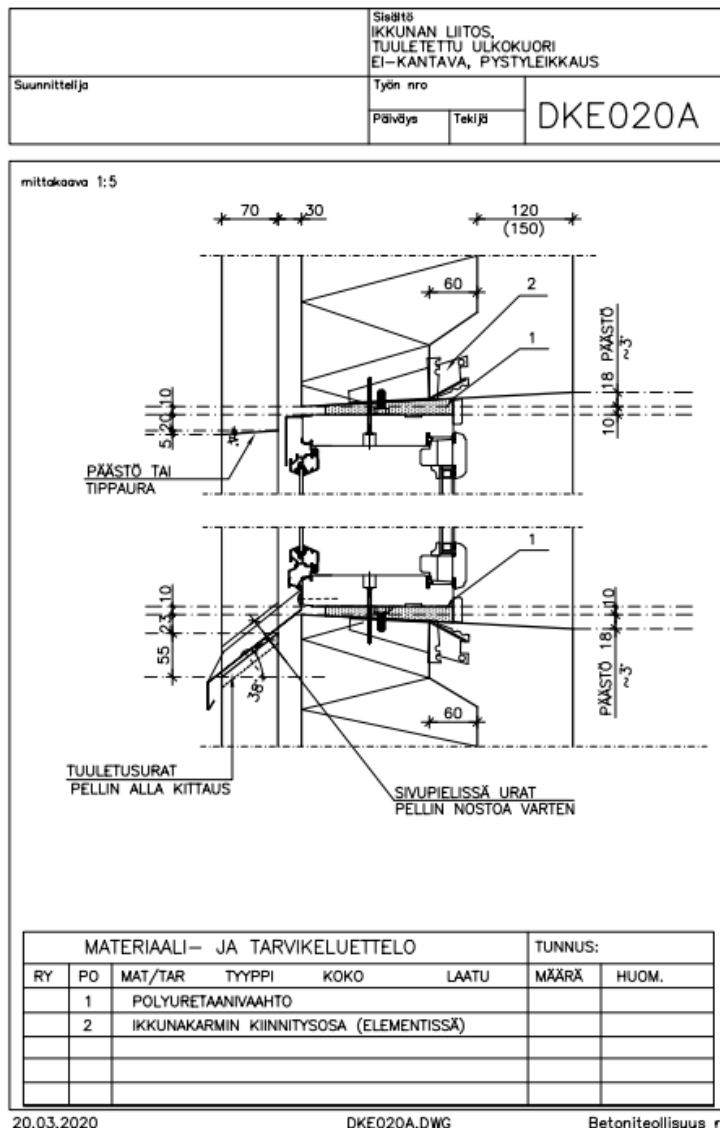
Pulttiliitosta käytetään myös palkin liitoksessa pilariin sekä gerber-palkin liitoksessa palkkiin. Pultit ovat palkkipilari-liitoksessa usein keskeisesti palkkiin nähden (kuva 6), mutta reunapalkeilla käytetään epäkeskeistä pulttia väännön vastaanottamiseksi. 1-kerrospilareita käytettäessä palkin jatkoskohta on usein pilarin vieressä. Kyseistä palkin ulokejatkosta kutsutaan gerber-liitokseksi. (Elementti-suunnittelu 2023, liitostyyppit.)



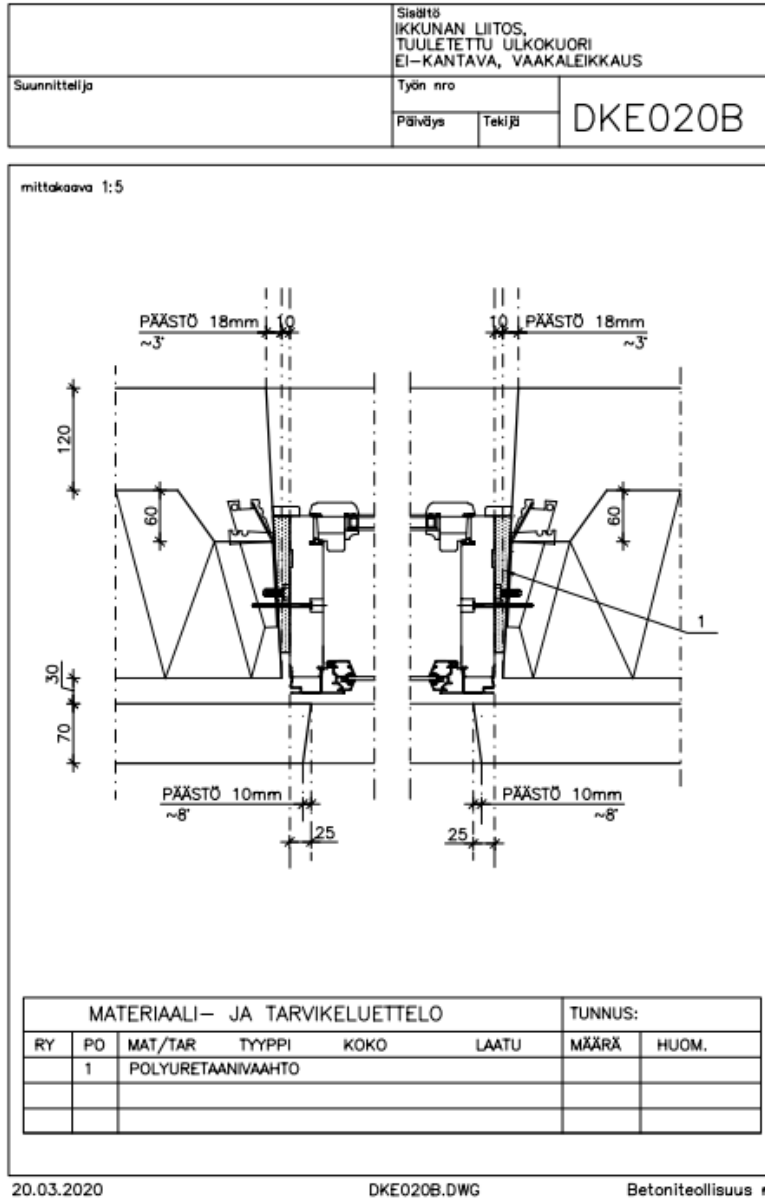
KUVA 6. Suorakaidepalkin liitos pilarin päähän, reunapilari (Runkoliitosedeljit 2020, 8.)

Pilari-palkki runkoisissa toimistorakennuksissa kantava pystyrunkona tavoitellaan käyttämään pilareita ja kantavien betoniseinien määrä rungon sisällä on mahdollisimman vähäinen, huomioiden kuitenkin rakenteen stabiiliteetti. Muuntojoustavuus ja rakennuksen käyttö huomioidaan jäykistävien betoniseinien sijoittelussa ja siksi ne ovat usein palo-osastojen välisiä seiniä, porrashuoneiden seiniä ja hissikuiluissa. (Elementtisuunnittelu 2024.)

Rakennusosien liittotyypit riippuvat rakenteiden materiaalien lisäksi rakenteiden vaikutuksesta rakennukseen, esimerkiksi onko kyseessä kantava vai kevyt rakenne. Kuvissa 7 ja 8 nähdään esimerkki pysty- ja vaakaleikkauksesta ikkunan liitoksesta, kun ulkokuori on tuuletettu ja rakennusosa on ei-kantava (Elementtisuunnittelu 2023).

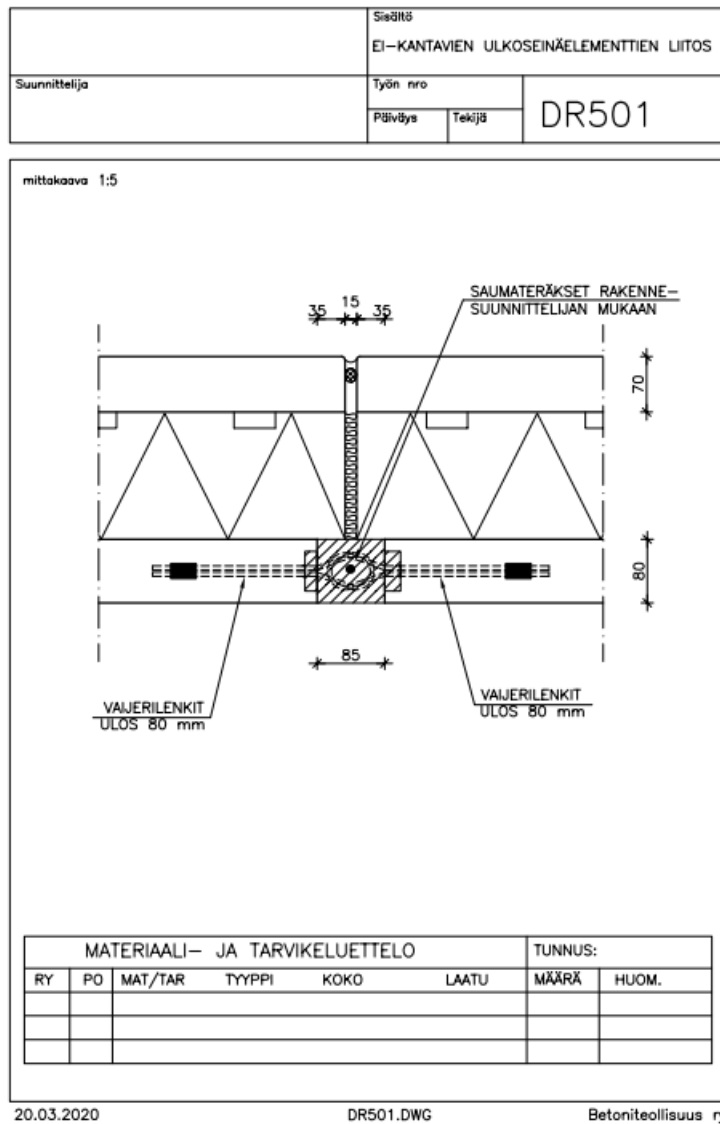


KUVA 7. Ikkunan liitos, pystyleikkaus (Seinäliitosdetaljit 2020, 10).



KUVA 8. Ikkunan liitos, vaakaleikkaus (Seinäliitosdetaljtit 2020, 11).

Toimistorakentamisessa suositetaan enemmän elementtirakentamista kuin paikallavalu rakentamista pilari-palkkirungon ja aikataulun takia. Toimistorakennuksien pinta-alat ovat yleensä tuhansia neliömetrejä, joten elementtirakentaminen on myös nopeampaa kuin paikallavalu rakentaminen. Kuvassa 9 nähdään esimerkkiratkaisu ei-kantavien ulkoseinäelementtien liitoksesta. Liitoksessa käytetään saumaterästä ja vaijerilenkkejä, joiden koot suunnittelija määrittelee.

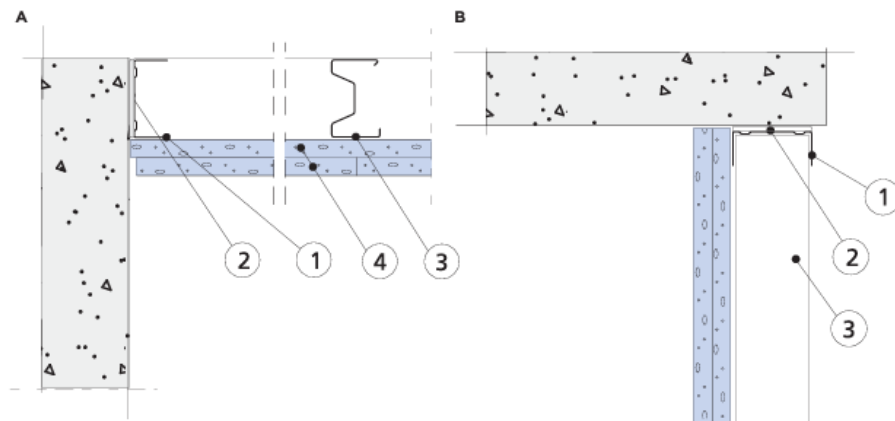


KUVA 9. Ei-kantavien ulkoseinäelementtien liitos (Seinäliitosdetaljit 2020, 39).

5.2 Esimerkkiratkaisuja liitosten toteutuksesta

Opinnäytetyössä esitetään ratkaisuja, joissa väliseinän rankana on pääasiassa teräsranka. Teräsrankan akustiset ominaisuudet ovat erinomaiset, minkä lisäksi aiheen käsittely pysyy johdonmukaisena, kun jokainen esimerkki esitellään samalla rangalla. Väliseinissä on mahdollista käyttää myös muuta runkomateriaalia, mutta tässä työssä ei keskitytä muihin materiaaleihin kuin teräsrankallisiin ratkaisuihin.

Saint-Gobain (2021) esittelee Gybroc käsikirjassaan esimerkkiratkaisuja väliseinille sekä niiden liitoksesta massiiviseen rakenteeseen. Teräsrunkoinen väliseinä voidaan liittää massiiviseen rakenteeseen reunaprofiililla (kuva 10). Liitos täyttää esitettyssä ratkaisussa ääneneristävyyksvaatimukset, jos seinätyyppi ja vaatimus liittyvälle massiivirakenteelle on valmistettu Gybrocin suositusten mukaisesti. (Saint-Gobain 2021, 102.)



Detaljit

1. Reunaprofiilina Gypsteel SK⁴⁾ Kisko ($D_{nT,w} \geq 30$ dB), Gyproc SKP Kisko ($D_{nT,w} \geq 35$ dB) tai Gyproc AC ACOUonomic ($D_{nT,w} \geq 40$ dB)
2. Kiskon kiinnityspisteiden etäisyys ei saa ylittää 400 mm
3. Rangat Gyproc XR, Gypsteel ELPR tai Gyproc GFR
4. 1 x 12,5 mm Gyproc-levy paloluokassa EI 15²⁾
1 x 18 mm Gyproc GFL 18 FireLine paloluokassa EI 30²⁾
2 x 12,5 mm Gyproc-levy paloluokassa EI 30²⁾
2 x 15 mm Gyproc GFL 15 FireLine paloluokassa EI 60²⁾

Luokitukset

Paloluokitus: EI 15 - EI 60
Ääneneristys: $D_{nT,w} \geq 30$ ¹⁾ dB³⁾

Huomautus

Palo- ja ääniluokka edellyttävät, että seinätyyppi täyttää vaatimustason.
¹⁾ Ääneneristävyys yksinkertaisella rungolla. Kak-sinkertaisella rungolla tai kerrosten välillä voidaan saavuttaa ääneneristys $D_{nT,w} \geq 57$ dB tai $D_{nT,w} + C_{50-3150} \geq 52$ dB.
²⁾ Paloluokitus voimassa riippumatta siitä, kumpi puoli seinästä altistuu tulelle
³⁾ Esitetty ääneneristävyys voidaan saavuttaa käyttäen esitettyä reunaprofiililla edellyttäen, että seinätyyppi ja vaatimus liittyvälle massiivirakenteelle noudattavat Gybrocin suosituksia
⁴⁾ Tiiveys varmistettava esim. päällimmäiseen levyyn tehtävällä saumatsoituksella (kts. kappale 3.11.)

Paloluokitellut seinät:
Liittymärakenteiden tiivistys Gyproc-saumanauhalla ja Gyproc-tasoihteella tai CE-merkityllä, kohteeseen sopivalla, elastisella saumamassalla, kts. kappale 3.11.

KUVA 10. Liitos massiiviseen rakenteeseen (Saint-Gobain 2021, 102).

Saint-Gobain (2021) esittelee käsikirjassaan ontelolaattatyyppejä ja niiden painoja saumattuina (kuva 11). Ontelolaattatyypillä ja massalla on vaikutusta seinän ja välipohjan väliseen liitokseen akustiikkaa tarkasteltaessa. Saint-Gobainin mukaan edellytyksenä teräsrankaisen väliseinän ja ontelolaattaisen välipohjan onnistuneelle liitokselle ovat:

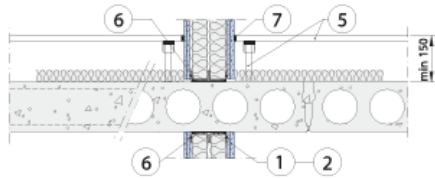
- Lattiarakenteena ei voida käyttää uivaa lattiarakennetta, jos ääneneristysvaatimuksena on $D_{nT,w}+C_{50-3150}$.
- Pilari-/palkkirakenteella tulee olla vähintään 400 m² yhtenäinen betonivälipohja. Jäykistyksen takia betoniseiniä ainoastaan portaikossa sekä mahdollisesti rakennuksen päädyissä.
- Ulkoseinien toteutus rakennuksessa toteutetaan niin, että sivutiesiirtymä estetään. (Saint-Gobain 2021, 108–109.)

Laattatyyppi	Paino saumattuina (kg/m ²)	Laattatyyppi	Paino saumattuina (kg/m ²)
O15	215	O37	510
O20	260	O40	465
O27	380	O50	600
O32	400		

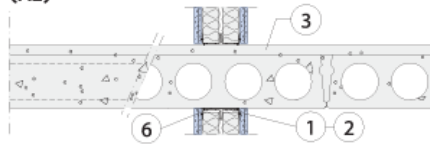
KUVA 11. Ontelolaattojen laattatyypit (Saint-Gobain 2021, 109).

Teräsrunkoisen väliseinän liitos ontelolaattaan edellyttää, että rakennuksen ulkoseinät on toteutettu niin, että sivutiesiirtymät estetään. Lisäksi tarvittavan välipohjarakenteen eli tässä tapauksessa ontelolaattojen laattatyyppi tulee soveltua vaatimustasoon (kuva 12). Toimistorakennukselle tyypillisin välipohjaratkaisu on laattatyypiltään O32, jos sen yläpuolelle rakennetaan kelluva lattia, tai lisä-ääneneristys laatan alapuolelle. Väliseinän liitos teräsrunkoisen väliseinän ja ontelolaatan välillä on mahdollista saavuttaa akustinen tiiviys, jos toteutus tehdään ohjeiden mukaisesti (kuva 12). (Saint-Gobain 2021, 109.)

Seinän liitos ontelolaattaan



Detalji A, Debel-korokelattia (A) tai kelluva lattia (A2)



Detalji B, pintavalu (B)

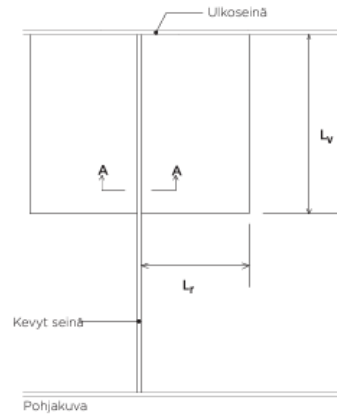
Detaljit

1. Reunaprofiilina Gyproc AC ACOUnomic, $D_{nT,w}$ 55 dB, kun huonekoko on vähintään 60m³
2. Reunaprofiilin tai kiskon kiinnityspisteiden etäisyys ei saa ylittää 400 mm
3. Väh. 50 mm pintavalu, ontelolaatalla O32
5. Lattiarakenne Gyproc Debel (O27). Kokonaiskorkeus väh. 150 mm (ilmaväli väh. 120 mm) tai uiva lattia 2 x GL 15 + ISOVER FLO 30 mm (O32)
6. Ontelolaatan saumat, v-urat ja epätasaisuudet tasoitetaan ylä- ja alapuolelta. Liittymän tiivistys kittisaumalla (ylä- ja alapuolelta), jolloin detaljin A mukaista villaa ei tarvita.
7. Akustinen tiivistys
Lattiapinnoite vapaasti valittavissa, kts. edellinen sivu.

Tarvittava välipohjarakenne

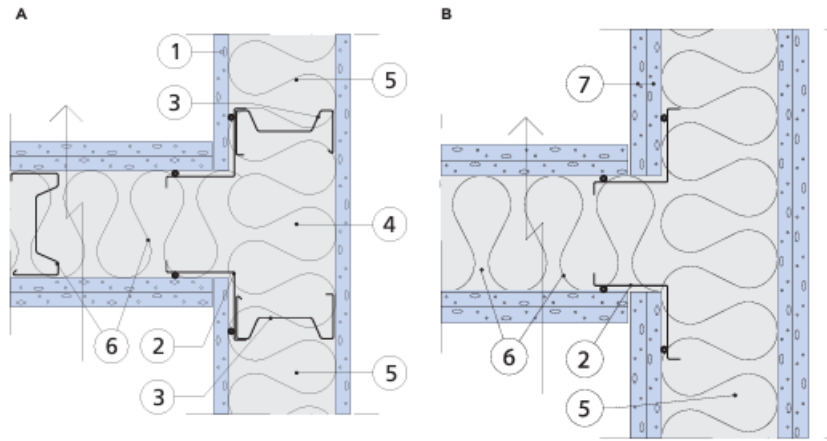
Ontelolaattojen vaadittavan tavoitetason, mittaluvun ja tilan tilavuuden mukaan.

Vaatimus	$D_{nT,w}$		$D_{nT,w} + C_{50-3150}$	
	30 m ³	60 m ³	30 m ³	60 m ³
58 dB	-	O50	-	-
57 dB	-	O50	-	-
56 dB	-	O50	-	O50
55 dB	O50	O37	O50	O37
52 dB	O40	O32	O50	O40
48 dB	O27	O32	O40	O27
44 dB	O20	O15	O27	O20
43 dB	O20	O15	O27	O15
40 dB	O15	O15	O15	O15



KUVA 12. Seinän liitos ontelolaattaan (Saint-Gobain 2021, 109).

Teräsrunkoisissa väliseinissä on mahdollisuus saavuttaa T-liitoksessa ääneneristysluku $D_{nT,w} \geq 56$ dB, jos rankana käytetään Saint-Gobainin Gyproc XR rankaa, ja seinätyyppi täyttää vaatimustason (kuva 13). (Saint-Gobain 2021, 118.) Liitostyypeistä T-liitoksella on mahdollisuus saavuttaa korkein ääneneristysluku. T-liitoksen etuna on rakenteen eristyksen yhtenäisyys eli rakenne ei katkea rakenteiden kohdatessa toisensa. Pintamateriaalit rakenteessa törmäävät toisiinsa, jolloin liitokseen syntyvän raon riski pienenee. T-liitos on toteutuksen kannalta haasteellinen, mutta laadukkaalla työnjohtamisella ja suunnitelmien noudattamisella, tiivis liitos ja rakenne on mahdollista saavuttaa.



Detaljit, seinätyyppi A

1. 12,5 mm Gyproc-levy
2. Kulmaprofiilina Gyproc AC 60-HR ACOUnomic
3. Rangat Gyproc XR 66-120, sijainti määräytyy palo- ja ääniluokasta
4. Välitila täytetään mineraalivillalla
5. ISOVER ACOUSTIC
6. Seinän rakenne, katso äänivaatimukset

Detaljit, seinätyyppi B

2. Kulmaprofiilina Gyproc AC 60-HR ACOUnomic
4. Välitila täytetään mineraalivillalla
5. Vähintään yksi rankaväli mineraalivillaa.
Paloluokassa EI 90 ja EI 120 ISOVER U Frame Protect 36²⁾, yksi rankaväli liittymäalueella kaikkiin kolmeen suuntaan.
6. Seinän rakenne, katso äänivaatimukset.
Eriste²⁾, väh. 200 mm matkalla tai ranka väli paloluokassa
7. 2 x 12,5 mm Gyproc-levy paloluokassa EI 60
2 x 12,5 mm Gyproc-levy paloluokassa EI 90
2 x 15 mm Gyproc GFL Fireline paloluokassa EI 120

Luokitukset

Detalji A

Paloluokitus: EI 60
Ääneneristys: $D_{nT,W} \geq 56^{1)}$ dB

Detalji B

Paloluokitus: EI 60 - EI 120²⁾
Ääneneristys: $D_{nT,W} \geq 56$ dB

Huomautus

Palo- ja ääniluokka edellyttävät, että seinätyyppi täyttää vaatimustason.

¹⁾ 2 x 12,5 mm Gyproc-levyllä kohdassa (1) saavutetaan ääneneristävyyttä $D_{nT,W} \geq 57$ dB sekä $D_{nT,W} + C_{50-3150} \geq 55$ dB

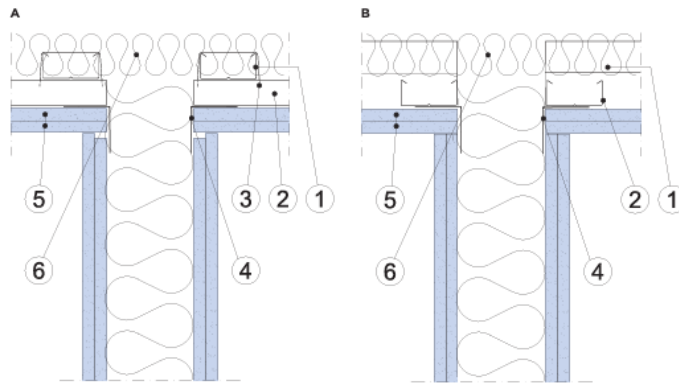
²⁾ EI 60 -seinärakenteet vastaavan paloluokan mukaisesti. Paloluokassa EI 90 - EI 120 kohdan (5) ja (6) mukainen ISOVER U Frame Protect tai jäykempi, runkotilan täyttävä vähintään 1 rankaväli. Eristeen paikallaan pysymisen varmistaminen ≥ 38 x 42 mm ruuvein, 3 kpl/eristelevy.

Paloluokitellut seinät:

Liittymärakenteiden ja liittymien ulko- ja sisänurkkien tiivistys Gyproc-saumanauhalla ja Gyproc-tasotteella tai CE-merkityllä kohteeseen sopivalla paloluokitellulla elastisella saumamassalla kohdan 3.11 mukaisesti.

KUVA 13. T-liitos teräsrankaisessa väliseinässä (Saint-Gobain 2021, 118).

Väliseinien ja alakattojen välinen liitos toimistorakennuksissa on yleinen, koska toimistorakennuksiin rakennetaan paljon väliseiniä työskentelytilojen lisäämiseksi. Ääneneristysluku $D_{nT,W}$ voidaan saada jopa 57 dB arvoiseksi (kuva 14), jos väliseinässä käytetään Saint-Gobainin Gyproc XR teräsrunkoista rankaa (Saint-Gobain 2021, 126). Rakenteiden sivutiesiirtymiin tulee kiinnittää huomioita seinän ja alakaton liitoksessa, jos alakatto toteutetaan kuvan 14 mukaisesti. Työskentelytiloihin on myös mahdollista rakentaa laskettu alakatto, jolloin väliseinät rakennetaan välipohjaan asti, ja alakattorunko rakennetaan mahdollisten tilassa olevien talotekniikan osien alapuolelle. Tällöin alakaton runko kiinnitetään väliseinään reunalistan avulla.



Detaljit

1. Pääkannattaja Gypsteel GK 1, k 1200 mm
2. Toisiokannattaja Gypsteel GK 1, k 400 tai k 600
3. Gyproc GK 22 Lukituskappale
4. Gyproc H 50/50 Kulmalista
5. 2 x 12,5 mm Gyproc-levy
6. Väh. 50 mm ISOVER ACOUSTIC, 1200 mm seinän molemmin puolin

Luokitukset

Detalji A
Ääneneristys: $D_{n,T,w} \geq 52$ dB

Detalji B
Ääneneristys: $D_{n,T,w} \geq 55^{1)}$ dB

Huomautus

Ääniluokka edellyttään, että seinätyyppi täyttää vaatimustason.

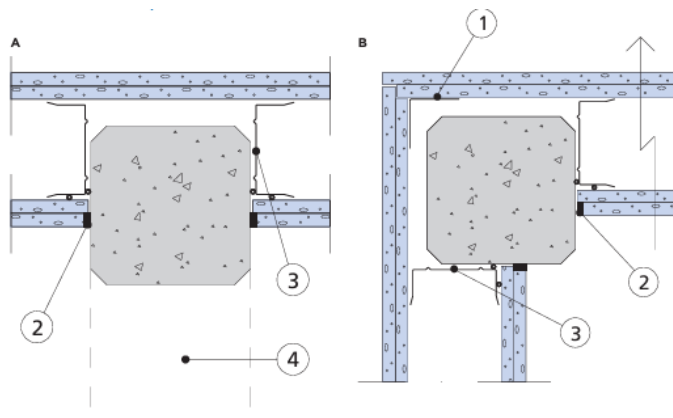
¹⁾ Väh. 70 mm mineraalivillaa kohdassa (6), 2400 mm seinän molemmin puolin, päästään ääneneristävyyteen

$D_{n,T,w} \geq 57$ dB.

Asennettaessa seinä pitkittäin tai poikittain toisiokannattajaan tai yleiset edellytykset, kts. tyyppidetilä 3.1.1:220.

KUVA 14. Teräsrunkoisen väliseinän liitos alakattoon (Saint-Gobain 2021, 126).

Pilari-palkkirakenteisessa toimistorakentamisessa pilarit on sijoitettu suunnitelmassa esitettyjen etäisyyksien päähän toisistaan. Tämä tarkoittaa, että väliseinät mahdollisesti kulkevat betonipilarin läpi tai pilari jää väliseinärakenteen sisään. Kyseinen rakenne on mahdollista toteuttaa ja on yleinen toimistorakentamisessa. Saint-Gobainin (2021) ratkaisussa käytetään teräsrunkoista Gybroc XR teräsrunkoa (kuva 15) (Saint-Gobain 2021, 137).



Detaljit

1. Kulmaprofiili Gyproc H 50/50
2. Akustinen tiivistysmassa, ei tarpeellinen käytettäessä Gyproc ACOUnomic
3. Gyproc SKP Kisko tai Gyproc AC Acounomic Reunaprofiili
4. Detalji A voimassa myös seinän liitoksessa betoniseinään

Luokitukset

Ääneneristys: $D_{n,T,w} \geq 52^{1)}$ dB

Huomautus

¹⁾ Seinätyyppi ratkaisee ääniluokan. Esim. kaksinkertaisella rungolla voidaan saavuttaa $D_{n,T,w} \geq 57$.

Kiskojen kiinnitysetäisyys ei saa ylittää 400 mm.

KUVA 15. Seinän liitos pilariin (Saint-Gobain 2021, 137.)

6 AKUSTISTEN MITTAUSTEN PERUSTEET

6.1 Mittauskohteet ja -tavat

Ääneen liittyviä akustisia mittauksia suoritetaan laboratoriomittauksina sekä kenttämittauksina. Mittauksia voidaan suorittaa rakennusakustiikan eri osa-alueilla. Opinnäytetyö on suunnattu työn toteutusvaiheeseen, joten laboratoriomittauksia työssä ei tarkastella muuten kuin mitä kenttämittauksien osalta on tarvetta.

Toimistoissa tyypillisiä kohteita mittauksille ovat ääneneristävyys, neuvotteluhuoneet, avotoimistojen huoneakustiikka sekä puuehämälisyys avotoimistoissa (Akukon 2017, 11). Rakentamisessa suoritetaan muitakin mittauksia kuin akustiikkaan liittyviä. Mittauksia suoritetaan tärinän ja runkomelun osalta ennen rakentamista, sekä rakennuksen valmistuttua. Ennen rakentamista suoritetaan mittauksia, joiden tuloksia käytetään mallinnuksessa apuna. (Kylliäinen ym. 2023, 183.) Rakennuksen valmistuttua suoritetaan mittauksia rakennuksessa sisällä, jotta voidaan varmistua, että rakenteet ja liitokset täyttävät vaatimukset.

Mittalaitteistoissa on eroja, jonka vuoksi mittaajan on hyvä olla tietoinen omien laitteidensa rajoituksista. Mittaajat ovat usein ulkopuolisia, jotta tulokset ovat dokumentointikelpoisia. Tämän vuoksi työmaalla työskentelevillä työnjohtajilla ei tarvitse olla yksityiskohtaista tietoa käytettävistä laitteista, mutta mittauksen toimintaperiaate ja käytäntö on hyvä ymmärtää.

Laboratoriomittaukset

Laboratoriomittauksien tavoitteena on määrittää ilmaääneneristävyys luotettavasti rakennuksen tietyille rakennusosalle. Ilmaääneneristävyyttä voidaan laboratorioolosuhteissa mitata vaakaa- sekä pystysuuntaisesti eli kaikille rakennusosille. Laboratoriossa pystytään luomaan olosuhteet, jossa sivutiesiirtymät ovat minimoitu ja äänivuotoja ei ole. (RIL 243-1-2007 2007, 58.)

Kenttämittaukset

Kenttämittaus suoritetaan halutussa kohteessa, ja vertailuarvoina käytetään laboratoriossa saatuja arvoja. Ääni ei siirry kenttämittauksissa tilasta toiseen vain tiloja erottavan rakennusosan välityksellä, vaan sillä on paljon erilaisia reittejä.

Siksi määräykset ja suositukset annetaan tilojen väliselle ilmaaneneristykselle olosuhteet huomioiden. Kenttämittauksia voidaan myös hyödyntää uusien rakennjärjestelmien ja rakennusosien liitosten kelpoisuutta tutkittaessa. (RIL 243-1-2007 2007, 58–64.)

Kenttäolosuhteiden arvot esitetään monessa lähteessä 3–6 dB laboratorioarvoja pienempinä, mutta tätä ei voida yleistää. Rakenteissa olevat vuotokohtat tai väärin suunnitellut sivuavat rakenteet voivat aiheuttaa jopa 5–20 dB eroja laboratoriossa saatujen arvojen ja kenttämittauksista saatujen arvojen välille. Laadukkaasti rakentaessa laboratorio- ja kenttämittauksen ero voi olla alle 1 dB, jos sivutiesiirtymiä ei ole ja rakenteet ovat tiiviitä. (RIL 243-1-2007 2007, 65.)

Laboratorio- ja kenttätuloksen erot

Kenttäolosuhteissa rakennusosaan on kytkeytynyt useita muita rakenteita, ja tilojen välillä on mahdollisesti ennakoimattomia äänireittejä esimerkiksi äänivuodot, ilmanvaihtokanavat sekä muut LVIS-reitit. Ero mittauksien välillä riippuu asennusympäristöstä, joten tuloksien erot ovat rakennuskohtaisia. Mitoituksien eron ollessa suuri pystytään kuitenkin päättämään, että rakenteessa on vuotokohtia tai rakennusosat ovat väärin asennettu. Mitä pienempi laboratorio- ja kenttätuloksen ero on, sitä todennäköisemmin rakenteiden liitokset on asennettu tiiviisti eikä ylimääräisiä vuotokohtia ole. (RIL 243-1-2007 2007, 66–67.)

6.2 Toimenpiteet ennen mittauksia

Ennen mittauksia tulee valita mittapisteet rakennuspaikalta. Mittapisteet valitaan mittaajien kanssa suunnitelmien pohjalta, mutta on hyvä varmistaa mittauspaiikat vielä paikan päällä ennen varsinaisten mittausten suorittamista. Mikäli mittauksia suoritettaessa on rajoittavia tekijöitä kuten mittalaitteiden vähäinen määrä, olisi mittapisteet hyvä valita siten, että ne edustavat runkomelun ja tärinän kannalta pahinta tilannetta. (Kylliäinen ym. 2023, 186.)

Alueet tai tilat, joissa mittauksia tehdään, tarkastetaan kauttaaltaan ennen virallista mittausta. Rakennusosien läpiviennit tarkastetaan huolellisesti, jotta voidaan varmistua, että äänivuotoja ei ole. LVIS-päätelaitteiden osalta tarkastetaan niiden oikeanlainen asennus ja toimivuus. Koneiden tulee olla päällä tarkastuksia tehdessä, jotta tulokset ovat käyttötilanteita vastaavia.

6.3 Mittausten suoritus teoreettisesti

Mittausten suoritus suoritetaan rakennuksessa mittaajan kanssa sovittuna ajankohtana, ennen kohteen luovutusta. Tulosten oikeellisuuden varmistamiseksi, suositellaan mittauksien suorittajaksi asiantuntijaa, jolla on FINASin myöntämä akkreditointilupa (A-insinöörit n.d.) Mittauksien olosuhteet luodaan mahdollisimman samanlaisiksi kuin mitä ne rakennuksen valmistuessa ovat. Esimerkiksi työmaavaiheessa suoritettavien mittauksien kanssa tulee varmistaa, että tärinää tai melua aiheuttavia töitä ei tehdä mittauksien aikana.

Äänieristysmittauksia voidaan suorittaa sisätiloissa huonetilojen välillä. Sisämittauksia rakennusakustiikassa ovat ilmaäänieristävyys, askeläänitasomittaus ja julkisivun äänieristävyys. Suosituksia niille annetaan standardissa SFS 5907:2022. Ilmaäänien eristysmittauksessa määritetään tiloissa vallitsevat äänitasot, rakenteen pinta-ala sekä vastaanottotilan akustinen absorptioala kahden huonetilan välisessä äänieristyksessä. Mittaukselle on kaksi menetelmää eri tarkoituksiin eikä menetelmien tuloksia voi vertailla suoraan keskenään. Menetelmät ilmaäänien eristysmittaukselle ovat yksittäisten rakenteiden ja rakenneosien laboratoriomittaukset sekä tilojen välisten rakennekokonaisuuksien kenttämittaukset. Ilmaäänieristystä kuvataan usein yhdellä luvulla ja mittausmenetelmän taustalla on useita oletuksia ja yksinkertaistuksia. (Akukon 2017, 17–18.)

Julkisivun äänieristysmittaus on ilmaäänieristysmittauksen erikoistapaus. Siinä mitataan ulkotilan ja huonetilan välisen julkisivurakenteen tuottamaa äänieristävyyttä. Mittaus suoritetaan aina kenttämittauksena ja mittaus sekä analyysi muistuttavat ilmaäänieristysmittausta. Julkisivulle asetettu kaavavaatimus ja julkisivuäänieristysmittauksen tulos eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään. (Akukon 2017, 19.)

Askeläänitasomittaus suoritetaan välipohjan ja rakenteiden välityksellä kantautuvista askeläänistä. Äänilähteensä mittauksissa käytetään erityistä askeläänikojetta, jolla tehdään rakenteeseen standardinmukainen heräte. Askeläänitasomittauksessa määritetään sekä vastaanottotilassa vallitseva äänitaso, että saman tilan akustinen absorptioala. Ilmaäänieristysmittauksen tapaan askeläänitasomittauksessa laboratorio- ja kenttämenetelmät ovat erikseen ja askeläänitasoa kuvataan yleisesti yhdellä luvulla. (Akukon 2017, 20.)

Askeläänitasoluvun mittausmenetelmä määritellään standardin ISO 16283-2:2013 mukaan. Standardi edellyttää, että kenttämittauksissa askeläänikojeella on lähetyshuoneessa minimissään neljä paikkaa. Vastaanottohuoneessa ääntä mitataan ainakin kahdesta kohdasta kutakin askeläänikojeen paikkaa kohti. (Kylliäinen ym. 2023, 102.)

Tärinän ja runkomelun arvot pystytään johtamaan värähtelymittausten tuloksista. Standardin ISO 14837-1 mukaan runkomelua voidaan mitata värähtelyn lisäksi myös ilmaääninä, mutta se vaatii olemassa olevan kohteen. Värähtelyn mittauksessa käytetään kiihtyvyyssantureita tai nopeusantureita ja päätelaitteita. Ilmaääninä esiintyvää runkomelua pystytään mittaamaan mikrofoneilla ja äänitasomittareilla. (Kylliäinen ym. 2023, 183.)

6.4 Mittaustulosten analysointi

Mittausten luotettavuus riippuu mittalaitteiston vaatimuksista, kalibroinnista, mitausolosuhteiden vaikutuksesta, mittausten raportoinnista sekä virhelähteiden määrästä. Akustiset kenttämittaukset ovat haastavia, koska olosuhteita on vaikea standardoida. Kenttämittaukset vaativat aina mittalaitteiden kalibrointia vaihtelevien ympäristöolosuhteiden vuoksi. (Akukon 2017, 22–23.)

Mittausraporteissa esitettävät asiat on monissa akustiikan standardeissa eritelty tarkoin. Mittausten luotettavuus ja laadun arviointi mahdollistuu, kun raportointi tehdään huolellisesti. (Akukon 2017, 24.) Mittaaja tai mittaukset suorittanut yritys laskee mittaustulokset ja koostaa niistä raportin. Hankkeeseen kuuluvien osapuolien kanssa sovitaan ennen mittausten suoritusta mittaustavoista ja työmaalle ilmoitettavista mittaluvuista. Raportti jaetaan työmaalle, jotta toteutusvaiheessa nähdään, onko kaikki rakennusosat riittävän laadukkaasti rakennettu. Mikäli jokin rakennusosa ei täytä ennakkoon määriteltyjä lukuarvoja, tulee siihen tehdä korjaavia toimenpiteitä, jonka jälkeen mittaukset suoritetaan kyseiselle rakennusosalle uudelleen.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tekeminen on opettanut tutkimustyön vaativuudesta sekä syventänyt aikaisemmin opittua tietoa. Toimistorakentamiseen syventyminen tutkimustyön näkökulmasta on vahvistanut olettamuksia suunnittelijoiden ja työnjohtajien tiiviistä yhteistyöstä. Liitoksien tutkiminen toteuttamisen näkökulmasta kirjallisuuskatsauksena ei ollut helppo aihevalinta, sillä selvityksen tekeminen oli jatkuvaa tasapainottelua tuotannon ja suunnittelun välillä.

Työn lopputuotoksena on tiivistelmä, josta löytyy oleelliset tavoitearvot rakenteiden liitoksille, asetukset sekä ohjeet. Niitä tarvitaan suunnittelun lisäksi runko- ja sisätyövaiheissa toimistotaloa rakentaessa. Opinnäytetyössä on käytetty työn kirjoittamishetkellä voimassa olevia rakentamismääräyksiä ja ohjeita. Rakennusakustiikalle osoitettuja suosituksia tarkastellessa, huomattiin niiden vaatimustason olevan korkeampi kuin määräyksien ja ohjeiden vähimmäistasot. Tämän tarkastelun pohjalta todetaan, että laadukas rakentaminen vaatii parempaa työnjälkeä kuin, mitä rakennusmääräykset vaativat.

Opinnäytetyön johtopäätöksenä todetaan, että rakenteiden liitoksien toteuttamiseen vaikuttaa rakennusakustiikka erittäin laajasti. Liitoksien toteuttamisen tarkastelu rakennusakustiikan näkökulmasta vaatii tietotaitoa rakennusakustiikan muistakin osa-alueista, jotta liitos voidaan toteuttaa kokonaisuudessaan laadukkaasti. Opinnäytetyön kirjoittaminen aiheesta vaati aineistojen tarkastelua myös aihealueen ulkopuolelta, jotta työn rajaus oli mahdollisimman optimaalinen.

Aiheen rajaus oli yksi opinnäytetyön vaikeimpia osuuksia, koska liitoksia esiintyy rakennuksessa joka puolella, ja liitostyyppejä on runsaasti runkotyypistä sekä materiaaleista riippuen. Opinnäytetyö tehtiin tuotannon näkökulmasta, mutta teoriaosuus ja määräykset osoittavat, kuinka työstä voi hyötyä myös rakennusalaa opiskelevat suunnittelijat. Akustiikan tuntemus kehittyy jatkuvasti, ja kehitysaskeleet ovat harppauksia johtuen muuttuvasta maailmantilanteesta. Kestävä kehitys ja mukavuus ovat ottaneet rakentamisessa jatkuvasti suurempaa jalansijaa, ja ostajat ovat valmiimpia sijoittamaan laadukkaisiin tiloihin aikaisempaa herkemmin.

Opinnäytetyössä perehdyttiin määräyksiin, ohjeisiin, suosituksiin ja huomioihin, joiden avulla aiheeseen vähemmän tutustuneiden henkilöiden on mahdollista syventää tietojansa. Työssä esitellään aihetta tiivistetysti, jotta oleellinen tieto saadaan esiteltä. Opinnäytetyössä esiteltiin elementtirakenteinen toimistorakennus pilari-palkkirungolla. Työssä jäi käsittelemättä muut runkorakenne vaihtoehdot. Suurimpana syynä muiden runkorakenteiden poisjättämiselle työstä oli niiden laajuus sekä yksilöllisyys, määräyksien ja ohjeiden vähäinen määrä.

Luvussa viisi käsiteltiin pilari-palkkirunkoisen toimistorakennuksen liitoksia tarkemmin. Liitoksien tarkastelu jäi kuitenkin minimaaliseksi, koska liitoksissa käytettävät ratkaisut ovat suunnittelijoiden erikoisalaa. Opinnäytetyöstä tavoiteltiin tiivistelmää rakennusakustiikasta toimistotiloissa rakenteiden liitoksien toteuttamisen näkökulmasta, joten syventymistä betonirakentamisen lukuihin ei nähty oleelliseksi. Työssä nähtiin tärkeämmäksi esitellä liitostyyppien vaihtoehdot ja lisätä tietoisuutta vaihtoehdoista, joita kyseisellä runkojärjestelmällä on mahdollista toteuttaa.

Toimistorakentaminen on kehittynyt valtavasti ja määräykset laahasivat pitkään jäljessä. Suomessa ääneneristysongelmat ja rauhattomuus työpisteillä ovat olleet haasteena suurissa toimistokeskitymissä. Heikkoon rakentamiseen on osittain vaikuttanut määräyksien ja ohjeiden vaillinaisuus, mutta myös tiedonpuute aiheen vaativuuden vuoksi.

Globaalit tapahtumat kuten COVID-19 muutti toimistotyöskentelyä merkittävästi ja tämä muutos tapahtui nopeasti. Maailman sulkeutuessa lähes jokainen toimistotyöntekijä työskenteli kotoa käsin etätöinä. Samalla opittiin arvostamaan uudella tavalla omaa aikaa, rauhaa ja yksityisyyttä. Häiritsevät tekijät kuten kova meteli ja epäergonominen työasento ovat heikentäneet henkilöiden paluuta toimistoille. Moni suosii edelleen etätöskentelyä. Tämän vuoksi olisi tärkeätä saada rakennettua laadukkaita toimistorakennuksia, jotta ihmiset palaisivat yhteisiin toimistorakennuksiin. Vuorovaikutus ja ideointi työyhteisön sisällä lisääntyisi, rakentaminen lähtisi uudelleen kasvuun sekä yritysten ostovoima kasvaisi.

Määräykset, ohjeet ja suositukset ovat päivittyneet lähes kokonaan toimistorakentamisen osalta viimeisten vuosien aikana lukuun ottamatta maankäyttö- ja rakennuslakia. Uuden maankäyttö- ja rakennuslain on tarkoitus astua voimaan 1.1.2025, ja samalla rakentamisen osuus muuttuu alueidenkäyttölainsäädännön mukaiseksi.

Opinnäytetyön aiheen rajauksen vuoksi jatkotutkimusehdotuksena työlle on pe-rehtyminen puurakentamiseen toimistorakentamisessa. Tässä opinnäytetyössä ei käsitelty puurakentamista muuten kuin kevyiden rakenteiden teoriaosuudessa. Jatkotutkimuksessa voisi kiinnittää myös huomiota betoni- ja puurakentamisen eroihin liitoksien näkökulmasta.

LÄHTEET

Ahonen, J. 2017. Akukon. Akustinen suunnittelu ja mittaukset. Akukon esittelytilaisuus. 24.11.2017. Seinäjoki. <https://akukon.fi/>

A-insinöörit. n.d. Akustiset mittaukset. Verkkosivu. Viitattu 8.4.2024. <https://www.ains.fi/palvelumme/akustiikkapalvelut/akustiset-mittaukset>

Elementtisuunnittelu. 2023. Liitostyypit. Verkkosivu. Viitattu 13.3.2024. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/liitokset/liitosten-toiminta/liitostyypit>

Elementtisuunnittelu. 2023. Runkoliitosdetaljit 2020. Pdf-dokumentti. Viitattu 30.3.2024. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/liitokset/runkoliitokset>

Elementtisuunnittelu. 2023. Seinäliitosdetaljit 2020. Pdf-dokumentti. Viitattu 30.3.2024. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/liitokset/seinaliitokset>

Elementtisuunnittelu. 2024. Toimisto- ja liikerakennukset. Verkkosivu. Viitattu 2.4.2024. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/rakennejarjestelmat/toimisto-ja-liikerakennukset>

Heikkilä, J. 2020. Rakennuslasin määräykset, ohjeet ja mitoitus. Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 11.3.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020060517375>

Hongisto, V. 2023. Rakennusakustiikka ja meluntorjunta. Pdf-dokumentti. Viitattu 18.3.2024. https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/2155741/mod_folder/content/0/Hongisto%2026012023%20FI.pdf?forcedownload=1

Jeld-Wen Suomi Oy. 2020. Luokiteltujen ovien asennusohje. Pdf-dokumentti. Viitattu 11.3.2024. www.swedoor.fi

Jeld-Wen Suomi Oy. 2023. Luokitellut ovet. Verkkosivu. Viitattu 11.3.2024. <https://www.swedoor.fi/tuotteet/projektikohteiden-ovet/luokitellut-ovet>

Kylliäinen, M. & Hongisto, V. 2007. RIL 243-1-2007. Rakennusten akustinen suunnittelu: akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL oy.

Kylliäinen, M. & Hongisto V. 2008. RIL 243-3-2008. Rakennusten akustinen suunnittelu: toimistot. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL oy.

Kylliäinen, M. & Hongisto, V. 2019. Rakennuksen ääniolosuhteiden toteutus. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:28. Helsinki: Ympäristöministeriö. Pdf-dokumentti. Viitattu 6.3.2024. julkaisut.valtioneuvosto.fi

Kylliäinen, M., Tervo S. & Yli-Pietilä, A. 2023. Talonrakentamisen akustiikka. 2. uudistettu laitos. Erillisteokset ja sarjajulkaisut. Tampereen yliopisto. Tampere. E-kirja. Viitattu 7.3.2024

Lepistö, S. 2020. Runkomelun huomioiminen kerrostalorakentamisessa. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 18.3.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202001301828>

Saint-Gobain. 2021. Gybroc Käsikirja. Kevytrakennejärjestelmät. Saint-Gobain Finland Oy / Gybroc. Helsinki. Pdf-dokumentti. Viitattu 11.4.2024. www.gyproc.fi

SFS 5907. 2022. Rakennusten akustinen suunnittelu ja laatuluokitus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 5.3.2024. Vaatii käyttöoikeuden.

Skaala. n.d. Luokitellut julkisten tilojen ovet – äänieristystä ja kestävyyttä vaativiin kohteisiin. Verkkosivu. Viitattu 11.3.2024. <https://www.skaala.com/fi/ovet/julkisten-tilojen-ovet/luokitellut-julkisten-tilojen-ovet/>

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1007/2017. Viitattu 5.3.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171007>

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017. Viitattu 19.2.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>

Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. 2018. Pdf-dokumentti. Viitattu 20.2.2024. ym.fi