

Antti Oilinki

**AKUSTIIKKAERISTETYN TILAN RAKENTAMINEN JA RAKENTAMISAIKAINEN
LAADUNVALVONTA**

Kelluvan huoneen periaate ja sen toteutus

AKUSTIIKKAERISTETYN TILAN RAKENTAMINEN JA RAKENTAMISAIKAINEN LAADUNVALVONTA

Kelluvan huoneen periaate ja sen toteutus

Antti Oilinki
Opinnäytetyö
Kevät 2025
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Antti Oilinki

Opinnäytetyön nimi: Akustiikkaeristetyin tilan rakentaminen ja rakentamisaikainen laadunvalvonta

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Construction of an acoustically insulated space and quality control during construction-phase

Työn ohjaaja: Raimo Parkkila

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2025

Sivumäärä: 49

Opinnäytetyön tavoitteena oli raportoida äänieristetyin tilan rakentaminen betonirunkoiseen väestönsuojatilaan. Äänieristetyin huoneen rakenteet toteutettiin kelluvina eli irrotettuina rakenteina väestönsuojan paikallavaletusta kantavasta teräsbetonirungosta. Katto, seinät ja lattia irrotettiin betonirungosta yksilöivillä ääntä eristävillä rakenneratkaisuilla.

Opinnäytetyössä perehdyttiin ääniopin ja laadun perusteisiin. Tämän jälkeen raportointiosiossa käytiin vaihe vaiheelta läpi kelluvan huoneen rakentaminen. Laadunvarmistus oli olennaisessa osassa työtä ja laadunvarmistuksen vaiheet raportoitiin työvaiheittain.

Ääniopin teoria auttoi ymmärtämään rakennusvaiheessa eri rakenteiden merkitystä lopputuloksessa. Käsite laadusta rakennustuotannossa sekä laadunhallintajärjestelmä ohjasivat tuotannossa rakentamista aikataulullisesti ja taloudellisesti. Laadunvarmistus sekä tehtävän suunnittelu ja johtaminen varmistivat valmistuneen lopputuloksen laadun.

Opinnäytetyön tuloksena valmistui väestönsuojatila, jonka sisään rakennettiin kelluva huone. Työssä saatiin raportoitua kelluvan huoneen rakennusvaiheet ja rakennusaikainen laadunvarmistus.

Asiasanat: akustiikka, laatu, laadunvalvonta, laadunvarmistus, ääneneristys

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Bachelor's Degree Programme in Civil Engineering

Author: Antti Oilinki

Title of thesis: Construction of an acoustically insulated space and quality control during construction-phase

Supervisor: Raimo Parkkila

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2025

Number of pages: 49

The aim of this thesis was to offer a step-by-step depiction of constructing an acoustically insulated space in a concrete civil defense shelter. The frame of the acoustically insulated space was built using a "floating room" design. In other words, the "floating room" was separated from the shelter's cast-in-place supporting concrete frame.

The thesis contains theoretical background regarding acoustics and quality. In the analysis chapter, a step-by-step documentation of the building process is presented. Additionally, quality control and quality control processes relating to construction of the "floating room" are presented in the analysis chapter.

During the construction process, theoretical background regarding acoustics exemplified the significance of various structures concerning the outcome of the construction project. Additionally, theoretical background surrounding construction quality and the quality control process used in the project streamlined the construction process both financially and in terms of time management. Quality control, proper planning, and on-site leadership secured a high-quality outcome for the construction project.

The finished project is a civil defense shelter which includes an acoustically insulated space. The structures of the floating room were planned and constructed successfully with high quality.

Keywords: acoustics, sound insulation, quality, quality control, quality assurance

ALKULAUSE

Haluan kiittää perhettäni, joka on tukenut minua insinööriopintojeni aikana.

Haluan kiittää myös LujaTalo Oy:ta toimeksiannostani.

Kiitos

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
2	AKUSTIIKKA RAKENNUSALALLA.....	10
2.1	Ääniopin teorian perusteet.....	12
2.2	Taajuus	13
2.3	Intensiteetti	14
2.4	Absorptio	14
2.5	Reflektio ja interferenssi	15
2.6	Jälkikaiunta-aika.....	17
3	LAATU.....	19
3.1	Laatu rakennustuotannossa	19
3.2	Laadunhallinta	21
3.3	Tuotannon suunnittelu	22
3.4	Laadunvarmistus	25
3.5	Tehtävän suunnittelu ja johtaminen	26
4	TILAN RAKENTAMINEN JA SEN LAADUNVARMISTUS	30
4.1	Laadunvarmistuksen vaiheet matriisimuodossa akustisessa tilassa	32
4.2	Pohjan oikaisuvalu, Sylomer-tunkkien asettelu paikalleen, raudoitus ja tunkattavan laatan valuvalmistelut.....	33
4.3	Sylomer-laatan valaminen.....	35
4.4	Valetun laatan jälkihoito ja laatan irrottaminen tunkkaamalla	35
4.5	Akustoivat rankaseinät	37
4.6	Akustoiva alaslaskukatto	40
4.7	Seinien ja katon pintakäsittely	42
4.8	Laatan pinnoitus	43
4.9	Ovet, jalkalistat ja heloitus	45
5	POHDINTA	47
	LÄHTEET.....	49

SANASTO

Absorboiva pinta-ala	äänienergiaa itseensä imevä pinta-ala
Absorptio	ilmiö, joka kuvaa äänisäteilyn fysikaalista ominaisuutta imeytyä säteilyä eristävään materiaaliin
Heijastuminen	äänisäteilyn suunnan muutos kohdatessaan esteen
Interferenssi	Kun kaksi tai useampi ääniaalto saapuu samanaikaisesti vastaanottajaan, niin ääniaallot summautuvat toisiinsa. Summauksesta seuraa joko vahvistuminen tai vaimentuminen. Seisova aalto.
Intensiteetti	$I = P/A$, joka kuvaa säteilytehoa pinta-alaa kohden [W/m^2]
Jälkikaiunta-aika	Kun äänilähde lopettaa äänen tuotannon, niin ääni ei katoa välittömästi tilasta. Jälkikaiunta-aika mitataan äänilähteen hiljentymisestä siihen ajanhetkeen, jolloin äänen intensiteettitaso on laskenut 60dB.
Kelluva huone	Kelluva huone on irrotettu kantavista rakenteista erilaisilla rakenneratkaisuilla.
Laadunohjaus	laadunaikaansaaminen prosessien valvonnalla ja toiminnan ohjaamisella
Laadunhallinta	organisaatiossa laatupolitiikkaa toteuttavien keinojen ja vastuiden järjestämisen laatu
Laadunhallintajärjestelmä	organisaation ohjaukseen integroitu resurssien ja keinojen järjestelmä laadun aikaansaamiseksi
Laadunsuunnittelu	tuotteelle tai palvelulle asetettujen laatuvaatimusten saavuttamisessa tarvittavien käytäntöjen, ohjeiden, voimavarojen ja toiminnan suunnittelu
Laaduntarkastus	vaatimusspesifikaatioihin, tarkastukseen ja korjaukseen perustuva laadun tuottamisen konsepti
Laadunvarmistus	laadunhallintaan kuuluva systemaattinen toimita, jolla osoitetaan tuotteen laadun vastaavan vaatimuksia
Laatu	se, missä määrin tarkasteltavan kohteen ominaisuudet täyttävät tarpeet ja odotukset.

Lähteen säteilyteho	tehdyn työn tai käytetyn energian määrä aikayksikössä W , [$kg\ m^2/s^3$]
Prosessi	tapahtumasarja, kehityskulku
Runkoääni	rakenteessa tai kiinteässä aineessa etenevä mekaaninen värähdysliike, joka siirtyy rakenteen loputtua ilmaan muodostaen äänen
Taajuus	jonkin ilmiön tapahtumien määrää sekunnissa
Tärykaiku	saman äänen kuulumista tilassa moneen kertaan
Vastaanottaja	asia, eliö, esine, tai ihminen, joka vastaanottaa havaittavaa ääntä
Äänen intensiteettitaso	äänien voimakkuus [dB]
Äänilähde	asia, eliö, esine, tai ihminen, joka tuottaa havaittavaa ääntä

1 JOHDANTO

Suomalaisessa rakentamisessa on läpi historian painotettu lämmityksen merkitystä pitkien pakkasjaksojen vuoksi. Rakennustekniikan kehittyessä rakennukset Suomessa alkoivat saada myös muita ominaisuuksia lämmityksen lisäksi. Yksi näistä ominaisuuksista on äänien hallinta eli akustiikka.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on raportoida kelluvan huoneen rakentamisen vaiheet laadunvarmistusvaiheineen. Työssä esitetään keino hallita äänen käyttäytymistä tilassa, mutta tarjotaan näkökulmaa rakennuksen sisäisen tilan käyttötarkoituksen muuttamiseen rakennusteknisillä ratkaisuilla.

Ääni perustuu värähtelyliikkeeseen ja ääneneristäminen värähdysliikkeen vaimentamiseen. Värähdysliike vaimenee rakenteissa riippuen rakenteen toteutuksesta. Olennaista ääneneristämässä ovat laadukkaasti toteutetut rakenteet. Laadukkaat rakenteet saadaan luotua laadunvalvonnalla.

Väestönsuojan kovat ja ääntä heijastavat pinnat ovat muutettu rakennusteknisillä ratkaisuilla ääntä vaimentaviksi pinnoiksi laajentaen väestönsuojan käyttömahdollisuuksia rakennuksen elinkaaren aikana. Opinnäytetyön tuloksena on äänimaailmaltaan muutettu väestönsuoja, joka palvelee kriisitilanteen suojan lisäksi myös rauhanajan käyttäjiä vaikkapa musiikkihuoneena.

Työn toimeksiantajana toimi LujaTalo Oy.

2 AKUSTIIKKA RAKENNUSALALLA

Akustiikka on tieteenalana vanha. Akustiikan tutkimisen edelläkävijöitä ovat olleet antiikin kreikkalaiset ja sana akustiikka on saanut alkunsa kreikan kielestä. Sana akustiikka polveutuu sanasta “akoustiké tékhnē” joka tarkoittaa kreikaksi “kuulemista koskeva taito”. (1)

Jo antiikin ajoista lähtien akustiikka ja siihen vaikuttavia asioita on jollain asteella ymmärretty, mutta vasta saavuttaessa tieteellisen vallankumouksen piiriin akustiikan tutkiminen saatiin aloitettua toden teolla. (2, s. 13–16)

Akustiikka rakennusalalla on moniulotteinen osa rakennusfysiikkaa. Akustiikka rakentamisen piirissä koostuu neljästä eri osa-alueesta. Nämä ovat huoneakustiikka, ääneneristys, meluntorjunta sekä tärinä- ja runkomeluntorjunta (2, s 20–21.)

Huoneakustiikka liittyy äänienergian heijastuskulmiin, vaimenemiseen ja muuhun vastaavaan käyttäytymiseen. Meluntorjunta sen sijaan tutkii äänensiirtymistä rakenteiden ja rakennekerrosten läpi. (2, s 20–21)

Materiaalin tiheys, rakennekerroksen paksuus, valmistusmateriaali ja pintakäsittely vaikuttavat olennaisesti, miten jokin rakennekerros eristää ääntä (2, s. 81.) Myös rakenteiden muotojen suuntauksella on merkitystä lopputulosta ajatellen. Heijastuvat ääniaallot tulee huomioida esimerkiksi laajoissa konserttisaleissa (kuva 1).



KUVA 1. Oulun musiikkikeskus, Madetojan Sali (3)

Laajat akustiikkaelementit hajottavat ääntä suurissa konserttisaleissa. Ääntä hajotetaan ja heijastetaan erilaisilla pintojen muodoilla, jotta eri taajuiset ääniaallot saadaan hallittua ja ohjattua (2, s. 128.) Tästä esimerkkinä konserttisalit, jossa eri taajuuksilla toimivien soittimien tuottama musiikki ohjataan kapellimestarin haluamalla tavalla kuuntelijoille.

Kovat rakennekerrokset eivät absorboi ääntä niin hyvin kuin pehmeät rakenteet. Ääniaallot heijastuvat kovista pinnoista, kun taas pehmeisiin materiaaleihin ääniaallot absorboituvat. Kovana materiaalina voidaan pitää terästä, betonia taikka paksuja puurakenteita. Pehmeänä materiaalina voidaan pitää mineraalivillaa ja aineita, joiden tiheys ei ole suuri. (4, s. 4–5)

Toimivaan akustiikkaan rakennuksessa ei vaikuta ainoastaan ääntä eristävät rakenteet, mutta myös äänilähteen sijainnilla on merkitystä. Suuressa osassa tilanteissa äänilähteen sijainnilla ei ole merkitystä, koska huoneet rakennetaan riippumattomasti toimivaksi akustiikan saralla. Esimerkkejä näistä on muun muassa asuinhuoneistot, äänityshuoneet tai musiikin opetustilat. (2, s. 124–127)

Äänilähteen sijainnin merkitys korostuu, kun ääntä kohdistetaan suurelle yleisölle tai pinta-alalle, koska pinnoista heijastuvat kaiut voivat muuttaa äänen epäselväksi. Konserttisalit, julkisille puheille

taikka esiintymisille varatut esiintymislavat, suuret kirkot ynnä muut vastaavat suuret ja avarat rakennelmat ovat esimerkkejä tiloista missä äänilähteen sijainnilla on merkitystä. (2, s. 124–127)

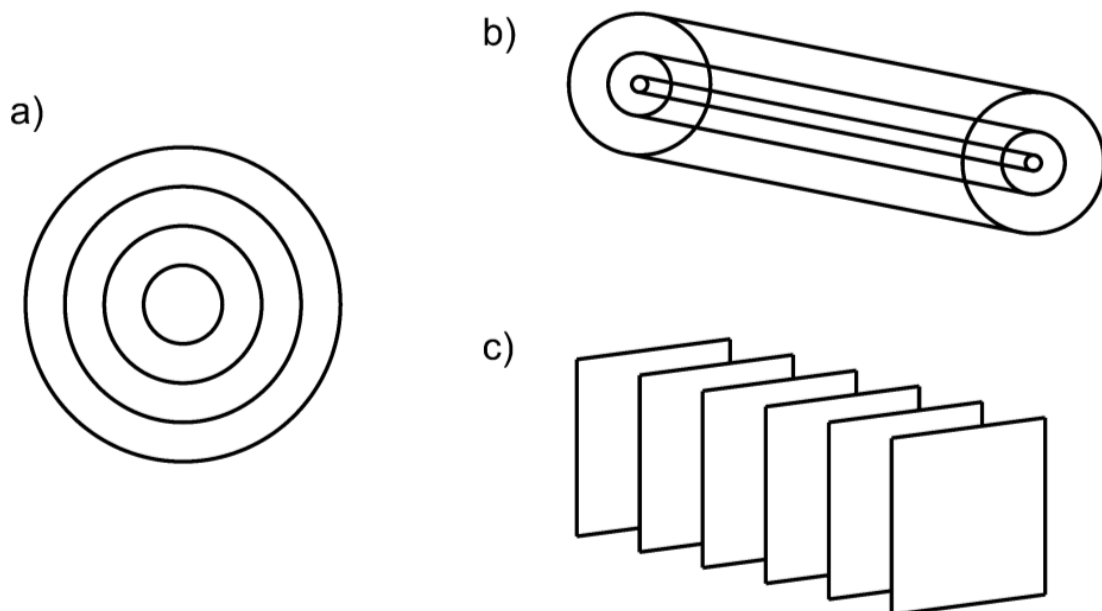
Ääntä eristävien rakenteiden suunnittelu ja rakentaminen tuottaminen perehtyneisyyttä, ääniteorian ymmärtämistä sekä huolellisuutta. Rakennuksen sisäinen viihtyvyys heikkenee, mikäli ääni katoaa huoneen sisällä liian nopeasti tai jää kaikumaan häiritsevästi (2, s. 49.)

2.1 Ääniopin teorian perusteet

Ääni perustuu aaltoliikkeeseen. Ääni tarvitsee aina välittäjäaineen, jotta ääni kulkee. Ääni ei kulje tyhjiössä (2, s. 37.) Ilma kaasuna kykenee välittämään paineaaltoja, jotka ihminen havaitsee äänenä.

Äänen kuuluminen ihmiskorvaan suhteutetaan logaritmisesti toimivaan äänen intensiteettitasoon. Tämä tarkoittaa sitä, äänenvoimakkuuden nostaminen 10 dB:llä kuulostaa siltä äänen voimakkuuden on kaksinkertaistumiselta. (4, s. 4)

Äänellä on erilaisia leviämismuotoja. Tällä hetkellä tunnetaan kolme erilaista leviämismuotoa: palloaalto, sylinteriaalto ja tasoaalto. Äänen leviämismuodot esitetään kuvassa 2.



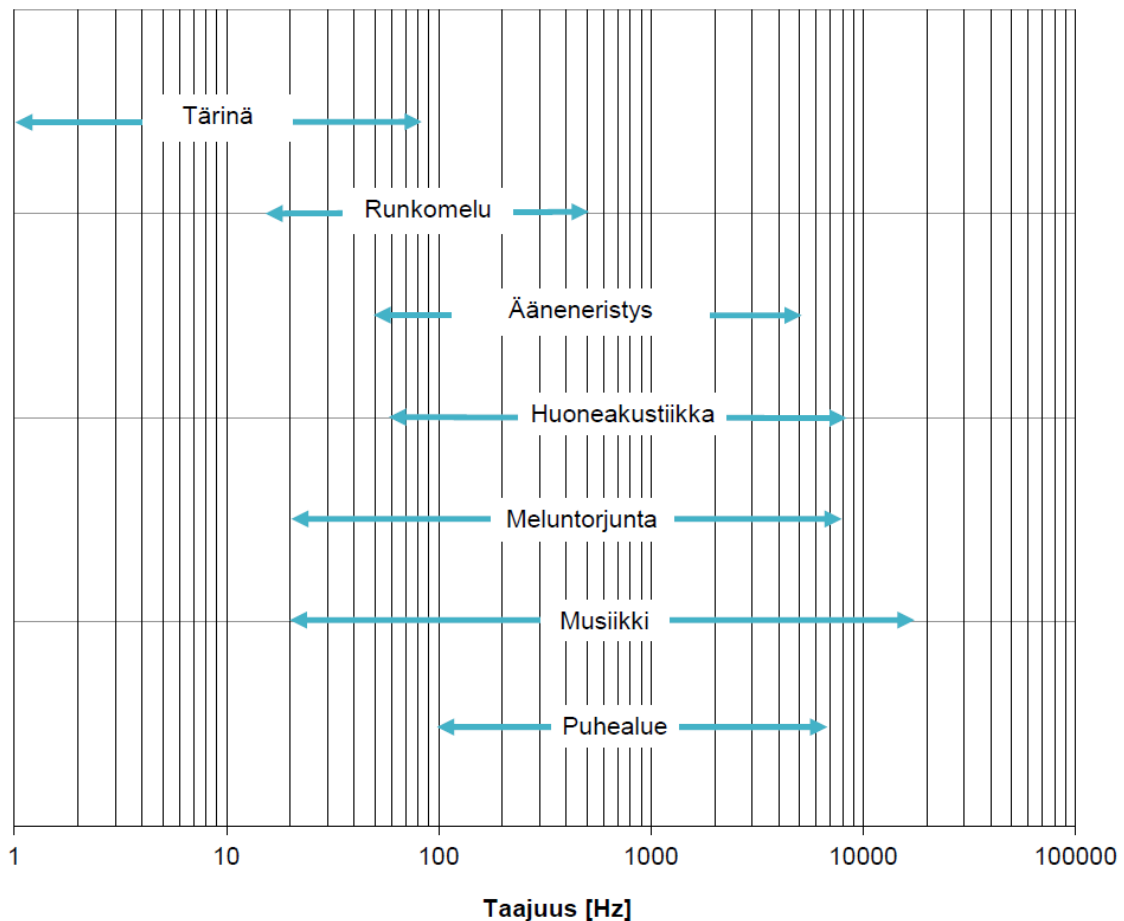
KUVA 2. Äänen leviäminen, A = Palloaalto, B = Sylinteriaalto ja C = Tasoaalto (2, s. 46)

2.2 Taajuus

Ääni on staattiseen ilmanpaineeseen nähden tapahtuvaa ilmanpaineen vaihtelua. Taajuus on ilmanpaineen vaihtelun lukumäärä sekuntiin nähden ja sen yksikkö on [Hz] (2, s. 37.) Mitä enemmän ilmanpaineen vaihtelua sekunnissa, sitä korkeampi on taajuus ja sitä korkeammalta ääni kuulostaa vastaanottajalle. Ihmisen kuuloalue on herkistynyt historian aikana taajuuksille 2 000–5 000 Hz (2, s. 41.)

Ihmisen korva havaitsee ääntä taajuudella 20 Hz – 20 kHz. Tämän taajuusalueen ulkopuolisia taajuuksia ihmisen korva ei havaitse. Alle 20 Hz:n taajuusalueella esiintyviä ääniä kutsutaan infraääniksi. Yli 20 kHz:n taajuusalueella esiintyviä ääniä kutsutaan ultraääniksi. Infraäänit tunnetaan elimistössä, jos äänenvoimakkuus on tarpeeksi suuri. (5)

Ääneneristämässä on tärkeää tietää eristettävän äänen taajuus. Kuvassa 3 esitetään eri taajuusalueet kunkin rakennusakustiikan osa-alueiden mukaan.



KUVA 3. Talonrakentamisen akustiikan osa-alueiden kannalta kiinnostavat taajuusalueet (2, s. 22)

2.3 Intensiteetti

Äänen intensiteetti kuvaa lähetettyä säteilytehoa vastaanottimeen. Intensiteetti suhteutetaan ihmisen kuulokynnykseen. Intensiteetin yksikkö on desibeli [dB] (5.)

Äänilähteen toimiessa se luovuttaa ympäristöön säteilyenergiaa. Äänen säteilytehon yksikkö on watti [W], mutta äänilähteiden luovuttama säteilyteho ympäristöön on pieni. Ihmisen puheen säteilyteho on kokoluokaltaan 10–100 μ W ja konsertissa esiintyvä säteilyteho on noin 10 W (6, s. 18).

Ihmisen korvan kokeman äänenpaine voi rikkoa tärykalvon ja aiheuttaa kuuroutumista. Kuuroutuminen hankaloittaa ihmisten välistä kanssa käymistä paljon, koska puheviestintä on ihmisten tärkein kommunikaatio keino toistensa välillä. (6, s. 110)

Taulukossa 1 esitetään tavallisia ääniä ja niiden voimakkuustasoja. Pitkäaikainen oleskelu koväänisessä ympäristössä voi vaurioittaa kuulokykyä.

TAULUKKO 1. Erilaisten äänilähteiden äänenpainetasoja (2, s. 38)

Äänilähde	Desibelit [dB]
Kuiskaus	30
Puhe n. 1 m etäisyydeltä	60
Vilkas liikenne n. 10 m etäisyydellä	70
Piikkaustyö	100
Kipukynnys	120
Suihkumoottori 30 m etäisyydellä	140

2.4 Absorptio

Absorptio käsitteenä kuvaa materiaalin kykyä imeä itseensä äänienergiaa. Materiaan kohdistuva äänienergia heijastuu pinnasta, mutta osa äänienergiasta jatkaa matkaa pinnan läpi kimpoamatta takaisin ja osa muuttuu kitkan vaikutuksesta lämpöenergiaksi. (6, s. 52)

Materiaalin absorptiokerroin on vaihteleva ja riippuu materiaalin huokoisuudesta. Huokoinen materiaali absorboi parhaiten ääniä, joiden aallonpituuden neljänneskohtaa materiaalin keskikohdan. (4, s. 4)

Materiaalin tiheys vaikuttaa myös absorptioon. Kovat materiaalit kuten betoni, teräs, tiili ja paksu puu omaavat alhaisen absorptiokertoimen. Kovat materiaalit heijastavat äänienergian absorptioon sijaan. (4, s. 5)

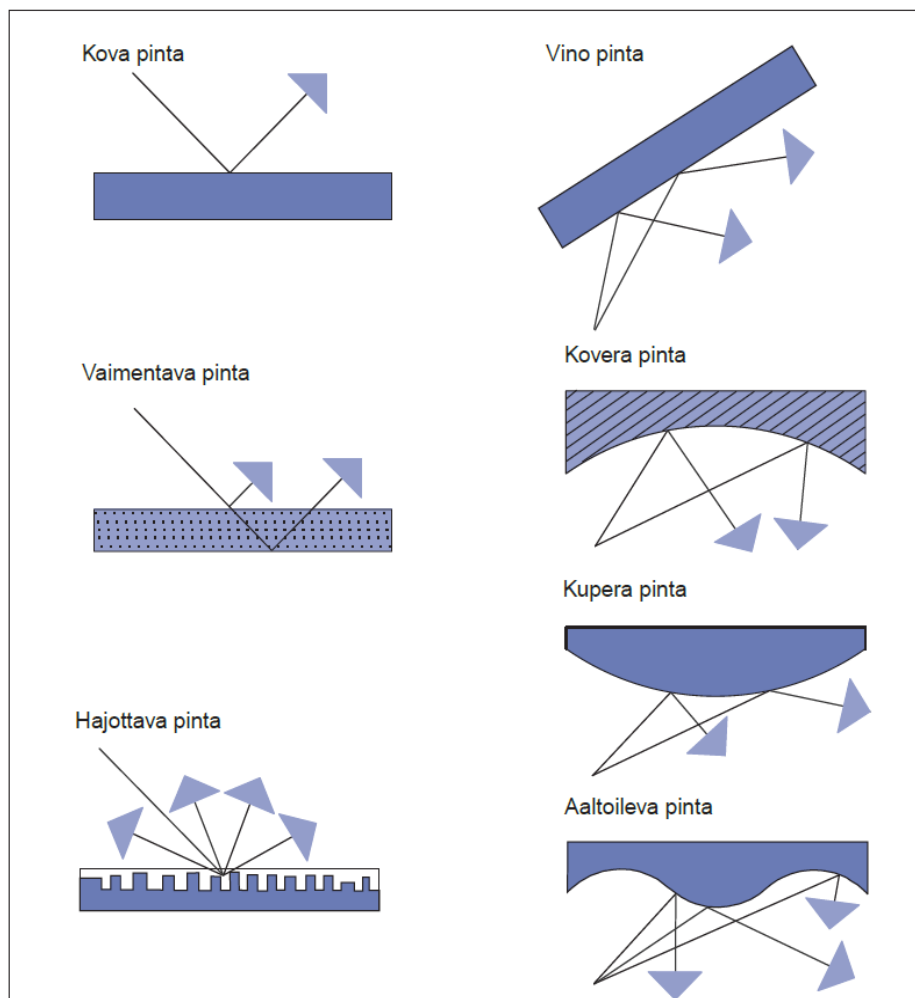
Absorptiokerroin on lukuarvo eikä sillä ole yksikköä. Absorptiokerroin jaotellaan 0–1 välillä, jossa 1 absorboi ääniaallot täysin, kun taas 0 ei lainkaan. Absorptiokerroin on kerroin, joka kertoo kuinka paljon absorptiopinta-alaa on akustoivassa rakenteessa. Esimerkkinä 10 m² brutto-alainen rakennuslevy, jonka absorptiokerroin on 0,7. Kokonaisabsorptiopinta-alaa esimerkin levyllä on 7 m². (4, s. 3)

Absorptio vaikuttaa jälkikaiunta-ajan muodostumiseen. Puhe muuttuu nopeasti vaimenevaksi tilassa, jossa on liian vähän absorboivaa materiaalia ja lyhyt jälkikaiunta-aika. Liian suuri absorptio-ala tilassa vaatii puhujaa käyttämään enemmän energiaa puhuakseen, koska äänen kuuluvuuden kannalta hyödylliset heijastukset absorboituvat liian nopeasti rakenteisiin. (2, s. 49)

2.5 Reflektio ja interferenssi

Ääniaalto heijastuu osuessaan esteeseen. Heijastumisilmiötä kutsutaan reflektioksi. Heijastunutta ääntä kutsutaan kaiuksi. Kaiuva ääni tilan sisällä jatkaa liikettään siihen asti, kunnes se on absorboitunut rakenteisiin. (6, s. 52)

Kuvassa 4 on esitetty äänen heijastuskulmat erilaisilta pinnoilta. Heijastuskulman suuntaaminen on merkittävä varsinkin suurissa ja avarissa tiloissa.

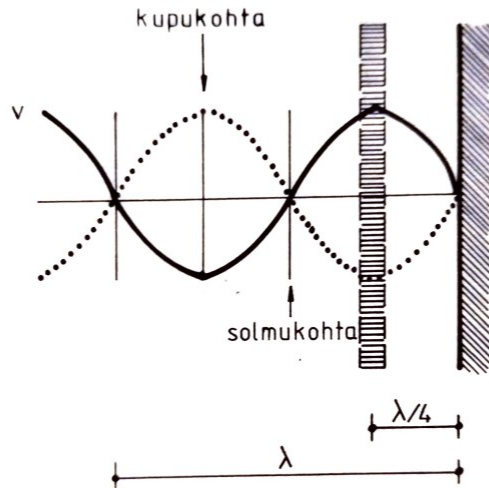


KUVA 4. Äänen heijastuminen erityyppisistä pinnoista (4, s. 1)

Heijastuminen suuntaa ääniaallot uudelleen, riippuen siitä missä kulmassa ääniaalto kohtaa reflektioivan pinnan. Matalat taajuudet vaativat suuremman pinnan reflektoitumiseen kuin korkeat taajuudet. (2, s. 128)

Interferenssi, eli seisova aalto on ilmiö, jossa äänienergiaa heijastuu täysin kovasta pinnasta. Vastaanottavalle pinnalle muodostunut äänenpaine on yhtä suuri kuin saapuva äänenpaine. Heijastavalle pinnalle muodostunut äänenpaine on kaksinkertainen verrattuna äänilähteen muodostamalle äänenpaineelle. (6, s. 49).

Kuvassa 5 esitetään interferenssin ja absorption ääntä hiljentävä vaikutuksen graafisesti esitettynä. Absorboiva materiaali sijoitetaan $1/4$ taajuuden aallonpituuden päähän heijastavasta pinnasta absorbointi-ilmiön tehostamiseksi.



Kuva 7.2 Ilmavälin päässä kovasta seinäpinnasta olevan huokoisen ainekerroksen vaikutusmekanismi.

KUVA 5. Ilmavälin päässä kovasta seinäpinnasta olevan huokoisen ainekerroksen vaikutusmekanismi (6, s. 55)

Interferenssiin vaikuttaa saapuvan äänenpaineen aallonpituus, eli taajuus. Matalilla taajuuksilla heijastuneen matkan sisältämä energia sijaitsee kaukana heijastavasta pinnasta. Korkeilla taajuuksilla interferenssin etäisyys on lähempänä heijastavaa kuin matalilla taajuuksilla. (6, s. 50,54)

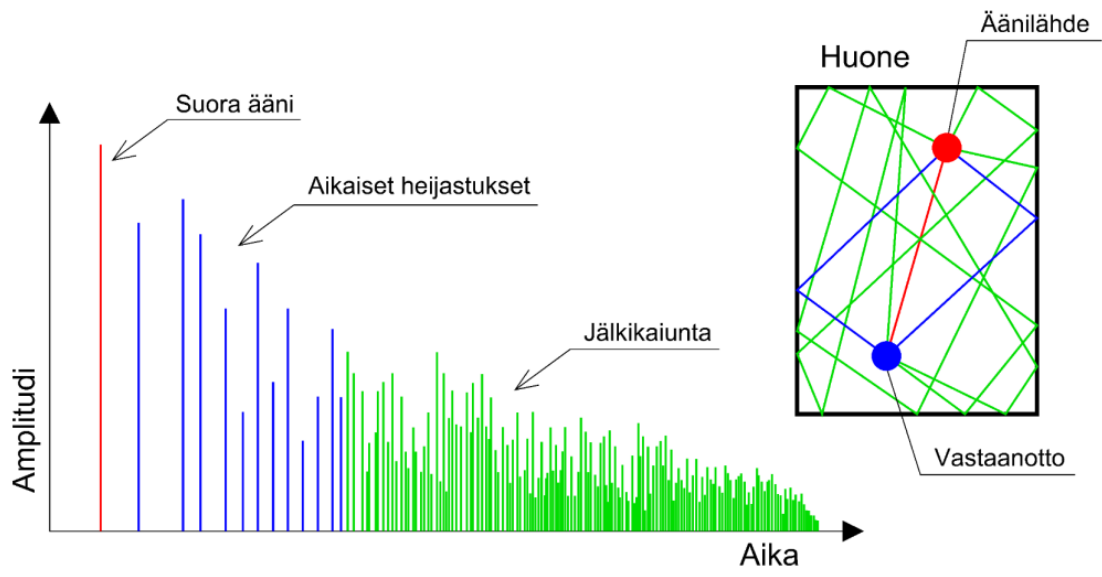
Vaimentavan materiaalin etäisyys määritetään taajuuden aallonpituuden mukaan. Tästä johtuen toivotun taajuuden vaimentava vaikutus tulee suunnitella etukäteen. Absorpoiva materiaali sijoitetaan neljännesaallonpituuden etäisyydelle heijastavasta pinnasta (2, s. 129).

2.6 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika on se aika, jolloin äänen voimakkuus on laskenut 60 dB äänilähteen sammutuksesta (2, s. 49). Pitkä jälkikaiunta-aika aiheuttaa ääneen kaikumiseen, kun äänet jäävät soimaan toistensa päälle. Lyhyt jälkikaiunta-aika vaikuttaa äänen katoamiseen tilasta.

Jälkikaiunta-aikaan vaikuttaa huoneen tilavuus, absorboivien rakenteiden pinta-ala ja pintamateriaali. Esimerkkinä kalustettu ja kalustamattoman asuinhuone. Kalustetussa asuinhuoneessa jälkikaiunta-aika on noin 0.5 s ja kalustamattomassa noin 1.5 s (2, s. 49).

Kuvassa 6 hahmotetaan jälkikaiunta ilmiönä. Ilmiön syntyminen vaatii äänilähteen sammumisen ja siitä syntyvien heijastusten absorboitumisen ympäröiviin rakenteisiin.



KUVA 6. Yksinkertaistettu esimerkki äänen impulssivasteesta huoneessa (2, s. 125)

3 LAATU

Laatu on käsitteenä monitulkintainen ja monimutkainen. Laatua voidaan mitata joissakin asiayhteyksissä, kun taas jossakin asioissa laadun määritelmästä kiistellään. Yhdysvaltalainen David Garwin (1952–2017) on luonut kuvauksen laadusta ja siihen vaikuttavista asioista. Luettelo on julkaistu vuonna 1988 (7, s. 57).

LUETTELO 1. Monipuolisen laadun luonnehdinta. Laadukkaan esineen tai palvelun kahdeksan osatekijää (7, s. 57.)

- Suorituskyky, hyödykkeen perusominaisuudet
- Lisäominaisuudet, hyödykkeen houkuttelevat ominaisuudet
- Luotettavuus, käyttövarmuus, toimivuus, turvallisuus, ympäristövaikutukset
- Yhdenmukaisuus, samanlaisuus
- Kestävyys, Tekninen ja taloudellinen käyttöikä
- Huollettavuus, Varaosien saatavuus, huollon helppous
- Esteettisyys, muoto, värit, viimeistely, haju, maku, tunne
- Mielikuva, merkki, maa, yritys-, ja tuoteimago

3.1 Laatu rakennustuotannossa

Laatu käsitteenä on monitulkintainen ja näin ollen laadukasta rakennustuotantoa voidaan tulkita monesta eri näkökulmasta. Laatu rakennusalalla jakaantuu neljään eri osakokonaisuuteen. Suunnittelun, tuotannon, asiakkaan ja ympäristön laatuun (8, s. 11). Näiden neljän eri laadun yhteisvaikutus vaikuttaa lopulliseen laatuun.

Rakennussuunnittelun laatuun lukeutuu muun muassa suunnitelmien toteutuskelpoisuus sekä asiakkaan toiveiden kunnioittaminen. Laadukkaaseen suunnitteluun kuuluvat myös erilaisten ominaisuusvaihtoehtojen huomioiminen tuotteen lopullista käyttöä tai käyttötarkoitusta ajatellen (7, s. 58).

Tuotannon laatua ovat rakentamistyön ajallinen ja taloudellinen toteutus, asiakkaan laatutoiveen kunnioittaminen sekä laadukkaan lopputuloksen luovuttaminen. Työturvallisuus kuuluu tuotannon laatuun, sillä siisti työmaa on turvallinen ja tehokas. (8, s. 7)

Ympäristölaatu on osa tuotannon laatuajattelua, jolla täytetään yhteiskunnan ja toimintaympäristön edellyttämä laadukas lopputulos (8, s. 11). Tästä esimerkkinä maarakennustöiden vaikutus pohjaveden korkeuteen rakennuspaikan ympäristössä (8, s. 81).

Asiakkaan kokema laatu voi olla sujuva yhteistyö urakoitsijan kanssa sekä lisä- ja muutostöiden sujuva käsittely (8, s. 11). Asiakkaan näkökulmasta laatu voidaan kokea valmistuneen projektin koko käyttöiän näkökulmasta. Asiakas voi olla osana luomassa laatua ilmoittamalla selkeästi ja yksiselitteisesti laatuvaatimuksensa hanketta koskien (8, s. 11).

Tuotannon suunnittelun laatu vaikuttaa rakennushankkeen lopulliseen laatuun. Rakennustuotanto suunnitellaan toteutettavaksi kaupallisissa sopimuksissa esitetyt laatuvaatimukset täyttäen (8, s. 13).

Suunnittelun ja tuotannon vaiheiden laatueroja heijastuvat läpi koko rakentamisvaiheen ja vaikuttavat mahdollisesti negatiivisesti lopputulokseen. Tuotannon laatuvirheet voivat johtaa asiakkaan toimesta takuukorjauksiin, vahingonkorvauksiin, reklamaatioihin, muutostöihin tai muihin taloudellisesti negatiivisesti vaikuttaviin kuluihin (8, s. 58).

Rakennusalalla on julkaistu rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset kokoelmia ”RYL”, joihin on sisällytetty eri rakennusosoiden yleisiä laatuvaatimuksia. Esimerkkeinä RYL-julkaisuista ovat RunkoRYL ja SisäRYL. RunkoRYL ottaa kantaa rakennuksen runkotöissä huomioitaviin laatuvaatimuksiin ja SisäRYL ottaa sisärakennusvaiheen laatuvaatimuksiin kantaa. (8, s. 22).

Rakennushankkeen lopullinen laatu ei ole ainoastaan urakoitsijan vastuulla. Hankkeen aikana arkkitehdit, rakennuttaja ja rakennesuunnittelijat ovat osana luomassa laadukasta lopputulosta. (8, s.19). Taulukkoon 2 on kerätty eri osapuolien roolien osaa rakennushankkeen laadun varmistamisessa.

TAULUKKO 2. Esimerkkejä rakentamisen eri osapuolien rooleista laadunvarmistuksessa (8, s.19)

Rooli	Toimenpiteet laadunvarmistuksessa
Rakennuttaja	Rakennuttaja vastaa myötävaikutus- ja huolehtimisvelvollisuuden täyttymisestä antamalla muun muassa lähtötiedot urakoitsijoiden täydentävää suunnittelua varten. Rakennuttaja valvoo, että hanke etenee sovitusti sopimusten mukaan.
Suunnittelija	Suunnittelijat vastaavat rakennusvaiheen aikaisesta suunnittelusta sekä suunnitelmien yhteensopivuudesta ja ristitarkastuksista. Pääsuunnittelija valvoo suunnitelmien yhteensopivuutta ja määräysten mukaisuutta sekä suunnitteluajataulun toteutumista.

(jatkuu)

TAULUKKO 2. (jatkuu).

Rooli	Toimenpiteet laadunvarmistuksessa
Urakoitsija	<p>Pääurakoitsija vastaa laatudokumenttien keräämisestä sekä arkistoinnista. Kullakin aliurakoitsijalla on velvollisuus varmistaa laatu oman työnsä osalta.</p> <p>Hankkeen aikataulullinen tilanne sekä työturvallinen tilanne on pääurakoitsijan velvollisuutena ilmoittaa työmaakokouksissa. Pääurakoitsija esittää mahdolliset poikkeavuudet aikatauluissa, budjeteissa, työturvallisuudessa ja laadussa. Esityksen jälkeen poikkeavuuksien korjaamiseen suunnitellaan keino korjata epäkohta.</p> <p>Pääurakoitsijan vastuulla on esitellä tuotemallit, tuotteiden toimittajat ja aliurakoitsijat rakennuttajalle</p>

3.2 Laadunhallinta

Laadunhallinta tarkoittaa toimenpiteitä, joilla ohjataan ja määritetään organisaation laatuun liittyviä tavoitteita. Johtajuudella on suora yhteys laadunhallintaan, eikä laadunhallintaa voi toteuttaa ilman organisaation sitoutuneisuutta. (8, s. 7)

Laadunhallintajärjestelmä määritellään SFS:n ISO-EN standardissa 9000 seuraavalla tavalla: ”Laadunhallintajärjestelmä kattaa toiminnot, joilla organisaatio määrittelee tavoitteensa ja määrittää prosessit ja resurssit, joita tarvitaan haluttujen tulosten saavuttamiseksi.” (9, s. 9) Luetteloon 2 on lueteltu erilaisia laadunhallintajärjestelmiä (8, s. 11.)

LUETTELO 2. Erilaisia laadunhallintajärjestelmiä (8, s.11)

- ISO 9000. kansainvälisesti tunnustettu ja standardisoitu laadunhallintamalli
- EFQM, European Foundation for Quality Management. Toiminnan parantavuuteen tähtäävä laadunhallintamalli.
- BSM, Balanced Scorecard. (suom. tasapainotettu mittaristo) Tämän laadunhallintajärjestelmän tarkoituksena on yhdistää eri organisaation sektoreita kuvailevien mittaristojen avulla.

Laadunhallintajärjestelmän luomisen jälkeen kaikilla organisaation jäsenillä on selkeä kuva lopputoteutuksesta ylintä johtoa myöten. Laadunhallintajärjestelmän tarkoitus ei ole vahingoittaa taikka heikentää organisaatiota tai sen sidosryhmiä. (8, s.10). Laadunhallintajärjestelmällä on tarkoitus luoda kestävyyttä ja arvoa organisaatiolle sekä sen sidosryhmille ja asiakkaille.

Luettelo 3 esittää keskeisiä piirteitä mihin laadunhallinta vaikuttaa. Laadunhallinnan keskeinen tavoite on pyrkiä ylittämään asiakkaan odotukset.

LUETTELO 3. Laadunhallinnan periaatteet (9, s. 10–15)

- asiakaskeskeisyys
- johtajuus
- ihmisten tasapainoinen osallistuminen
- prosessimainen osallistumismalli
- tuotteiden, toimintamallien sekä yleisellä tasolla tapahtuva parantaminen
- näyttöön perustuva päätöksenteko
- suhteiden hallinta toimitsijatasolla

Laadunhallintajärjestelmään kuuluu olennaisesti myös toimintaohjeet. Toimintaohjeissa käsitellään yrityksen tapaa toimia virheettömästi. Toimintaohjeet käsittelevät muun muassa vastualueet sekä keinot toimia virheettömästi, viittaukset erilaiseen työhön liittyvään kirjallisuuteen taikka ohjeistukseen sekä sisäiseen ja ulkoiseen aineistoon. Sisäinen viiteaineisto voi olla esimerkiksi edellisten projektien dokumentoitu historia. (8, s. 10)

Rakennusalalla laadunhallintajärjestelmä pitää sisällään projektien laatusuunnittelun. Projektin laatusuunnittelu pitää sisällään eri rakennusvaiheiden laatudokumentit, suunnitelmat, ohjeet, projektin aloituksen kannalta tärkeitä asiakirjat sekä valmista lopputulosta ajatellen myös laatukriteerit, jonka mukaan rakennus on rakennettu. (8, s. 11)

Laadunhallintajärjestelmä ei ole ainoastaan sidottu työn laatuun, vaan jokaiseen projektin eri vaiheeseen. Työmaan turvallisuuden mittaaminen viikoittaisilla TR-mittauksilla on osa työmaan laatua. Työmaan rakennusaikainen laatu määritellään laadunhallintajärjestelmässä vastaamaan tiettyä vaatimustasoa. (8, s. 11)

Laadunhallintajärjestelmä aikaansaa ja ylläpitää prosesseja. Rakennusprojekti on sarja suunniteltuja prosesseja, jotka liittyvät toisiinsa. (8, s. 348)

3.3 Tuotannon suunnittelu

Tuotannon suunnittelu varmistaa ennakoivasti hankkeelle asetettujen tavoitteiden täyttymistä. Tuotannon suunnittelu luo yhteiset käytännöt ja menettelytavat projektia koskien. (8, s. 16)

Tuotannon suunnittelun tehtävänä on varmistaa, että rakennushankkeessa saavutetaan sille määritetyt laatuvaatimukset, kuten taloudellisten ja ajallisten tavoitteiden saavuttaminen. Näiden urakoitsijaan kohdistuvien laatuvaatimusten velvoittamana urakoitsijan tulee saavuttaa ennalta sovittu lopputuotteen laatu. (8, s. 13)

Työmaan tuotannon suunnittelun avulla erilaiset työvaiheet sovitetaan yhteen ja niille laaditaan täsmälliset aikataulut. Tuotannon suunnitteluun kuuluu muun muassa työmaalogistiikka sekä työturvallisuuden huolellinen suunnittelu. (8, s. 13)

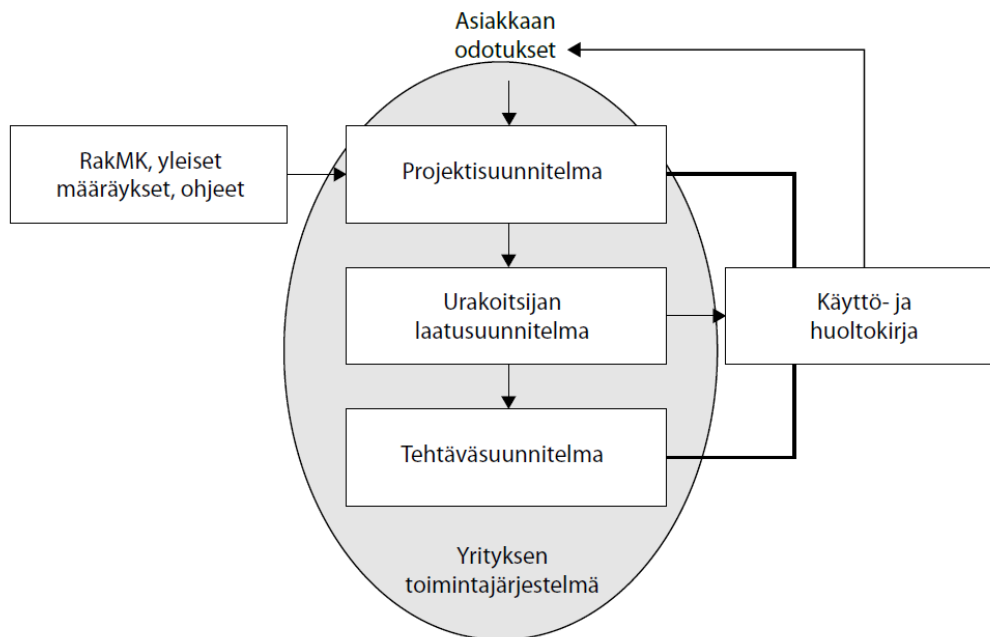
Tuotannosuunnittelun alkaessa rakennussuunnitelmat tarkastetaan ja mahdollisesti tarkennetaan (8, s. 13). Tarkennusten myötä tuotanto ohjaa työmaaolosuhteita suuntaan, joka nähdään parhaaksi tavaksi saavuttaa laadukas lopputulos.

Tuotanto varautuu myös mahdollisiin häiriötilanteisiin ja poikkeamiin suunnittelemalla vaihtoehtoiset toimintatapamallit. (8, s. 13). Tuotannon suunnittelun tuloksena muodostuu työmaan projekti-suunnitelma. Projektisuunnitelma voi sisältää virheitä, joten on olemassa apukysymyksiä projektisuunnitelman täydentämiseen (8, s. 16–17.) Luettelossa 4 listattu apukysymyksiä projektisuunnitelman muodostamiseen.

LUETTELO 4. Työmaan projekti-suunnitelman kokoamisen apukysymyksiä. (8, s. 16–17)

- Onko asiakirjojen sisältöä verrattu toisiinsa tai suunnitelmiin?
- Onko asiakirjasisällössä ristiriitaisuuksia?
- Onko hanke ja tehtävät kuvattu riittävän kattavasti?
- Onko työmaalla tapahtuva laadunhallinta ja laadunvarmistaminen toteutettavissa annetuilla lähtötiedoilla?
- Onko riskientorjunta käsitelty tarpeeksi kattavasti?
- Onko eri työvaiheita ja niiden välisiä siirtymiä suunniteltu riittävästi?
- Onko hankkeen suunnittelussa otettu kantaa seuranta, tarkastus ja ohjaustoimiin?
- Miten työn turvallisuus on huomioitu hankkeen suunnitelmissa?
- Mikä on ohjaava toimi mahdollisiin aikatauluviivästyksiin?
- Miten kustannuseuranta on toteutettu?
- Onko jotain erikoisia rakennusteknisiä asioita, jotka ovat jääneet huomiotta?
- Onko organisaation sisäiset vastuut jaettu oikein?
- Onko asiakirjasisällössä jotain epäselviä/puuttavia kohtia?
- Miten työmaalogistiikka on suunniteltu toimivaksi eri työvaiheiden aikana?

Työmaan projektisuunnitelma pitää sisällään työmaan toimintatavat, käytännöt, dokumentoitavat, laadunvarmistusmenettelyt sekä laadunohjauksen, mahdollisiin riskeihin varautumisen sekä muut muuttuvat elementit, kuten kustannusten, aikataulujen, laadun, työturvallisuuden ja ympäristön kannalta tärkeät käytännöt. (8, s.16). Kuvassa 7 havainnollistetaan miten projektisuunnitelma, yrityksen laadunhallintajärjestelmä ja laadun eri suunnitelma-asteet vaikuttavat yhdessä laadukkaan lopputuloksen syntymiseen.



KUVA 7. Rakennusprojektin projektisuunnitelman, urakoitsijan laatusuunnitelman ja tehtäväsuunnitelman asema rakentamisen laadunvarmistuksessa (8, s.16)

Urakoitsijan laatusuunnitelmaan kuuluu olennaisesti urakoitsijan organisaatorakenne ja projektin parissa työskentelevien toimenkuvat. Urakoitsijan laatusuunnitelmassa määritetään myös urakoitsijan laadunvarmistustoimet työtään koskien. (8, s. 17)

Urakoitsijan laatusuunnitelma luo myös pohjan tuotannon suunnittelulle. Rakennustuotannon tehtävä on varmistaa, että rakennusprojekti on suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti rakennettu ennalatasovitussa ajassa ja budjetissa. Rakennustuotannon suunnittelun tarkoituksena on ennaltaehkäistä urakoitsijan laatusuunnitelman vastaisia tapahtumia. Tuotannon suunnittelu varmistaa, että hanke etenee tavoitteiden mukaan. Tämä kaikki on mahdollista yrityksen laadunhallintajärjestelmän avulla. (8, s. 17)

Rakennustyömaan yleissuunnitelman pohjalta jalostetaan tarkemmat tuotantosuunnitelmat eri rakennusvaiheille ja tehtäville. Tehtävän johtaminen ja suunnittelu alkaa ennakoivasti, jotta mahdollisiin häiriötekijöihin voidaan puuttua ennen tehtävää. (8, s. 20)

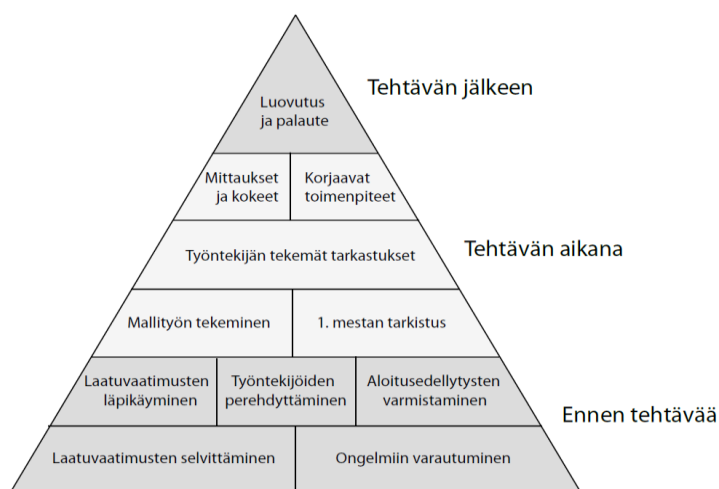
3.4 Laadunvarmistus

Laadunvarmistus on laadunhallintajärjestelmän osa. Laadunvarmistuksella on tarkoitus varmistua työn kohteen laadusta ja siitä, että valmis työ täyttää sille osoitetut vaatimukset. (8, s.18). Luettelossa 5 esitetty rakennusalalla esiintyviä laadunvarmistuskeinoja.

LUETTELO 5. Laadunvarmistuskeinoja rakennusalalla (8, s.18)

- halutun laatutason määrittäminen asennustyöryhmälle
- riskien arvioiminen ja niihin ennakointi
- tehtävään liittyvät tarkastukset, testit ja mittaukset
- aloituspalaveri
- mallityö ja sen katselmus
- tehtävän vastaanotto ja siihen liittyvän työpisteen vastaanotto toimihenkilön kanssa
- tehtävän seuranta

Kuvassa 8 hahmotetaan laadunvarmistuskeinojen ajoittuminen työn aikana. Laadunvarmistus on jatkuvaa hankkeen aikana, koska rakennushanke on prosessipohjainen. (8, s. 24)



KUVA 8. Työlle asetettuja vaatimuksien toteutumista seurataan ja työtä ohjataan haluttuun laatu-tasoon (8, s. 24)

Tehtävänäikainen laadunvarmistaminen on mahdollista esimerkiksi laadunvarmistusmatriisiin, tai muun tarkastuslistan kautta. Tehtävän aikaisia tarkastusasiakirjoja voidaan käyttää työmaadokumentteina sekä luovutuksen jälkeen huoltokirjan aineistona (8, s. 21.)

Laadunvarmistusmatriisissa tuodaan esille laadunvarmistuskeino aikataulun mukaiselle työvaiheelle. Matriisimuodossa esitetään aikataulutehtävän nimen lisäksi laadunvarmistuskeino tietylle työvaiheelle tai tehtävälle. Aikataulutehtävälle nimetyn laadunvarmistuskeinon mukaiset toimenpiteet ja päätökset dokumentoidaan osaksi hankkeen tarkastusasiakirjaa ja urakoitsijoiden laatudokumenttien arkistointia. (8, s.18) Kuvassa 9 esitetään esimerkki laadunvarmistusmatriisista.

Laadunvarmistusmatriisi									
Aikataulu-tehtävä	Laadunvarmistustoimi								
	Tehtäväsuunnitelma	Aloituspäivä	Mallityö	Tarkemmittaus	Ongelmin varautuminen	Oma valvonta/laaturaportti	Kokeet, mittaukset	Tarkastukset	Vastaanotto katselmus
Maarakennustyöt		X						X	X
Perustustyöt	X	X	X	X	X	X		X	X
Elementtiasennus	X	X	X	X	X	X			X
Vesikattotyöt	X	X	X		X	X	X		X
LVI- ja sähkötyöt		X		X	X		X		X
Ikkuna-asennus		X	X	X					X
Väliseinätyö		X	X			X			X
Tasoite ja maalaus		X	X		X	X	X		X

KUVA 9. Esimerkki laadunvarmistustoimista työmaan laatusuunnitelman laadunvarmistusmatriisista (8, s.18)

3.5 Tehtävän suunnittelu ja johtaminen

Tehtävä on työkaupan, aliurakan tai muu yleensä yhden työryhmän toteuttama työkokonaisuus, joka voi muodostua yhdestä tai useammasta työlajista (8, s. 349). Tehtävän suunnittelu on keino, joilla yrityksen tai urakoitsijan ulkoisiin tai sisäisiin vaatimuksiin voidaan vastata. Vaatimuksiin vastaamalla yritys tai urakoitsija saavuttaa tuotannolle tärkeitä tavoitteita (8, s. 21)

Jokaiselle tehtävälle on olemassa kustannus- ja aikataulutavoitteet. Tavoitteet kootaan projektin tavoitearviosta, hankintasuunnitelmista, yleisaikataulusta sekä muista sopimusasiakirjoista (8, s. 22).

Tehtävä alkaa tehtävän suunnittelusta. Tehtäväsuunnitelman on oltava yhtenäinen työkokonaisuus, joka on mahdollista tehdä yhden työryhmän voimin. Tehtäväsuunnitelma laaditaan luette-
lon 6 mukaisten tehtävään vaikuttavien tekijöiden perusteella. (8, s. 22)

LUETTELO 6. Tehtäväsuunnitelman muodostavat tekijät (8, s. 22)

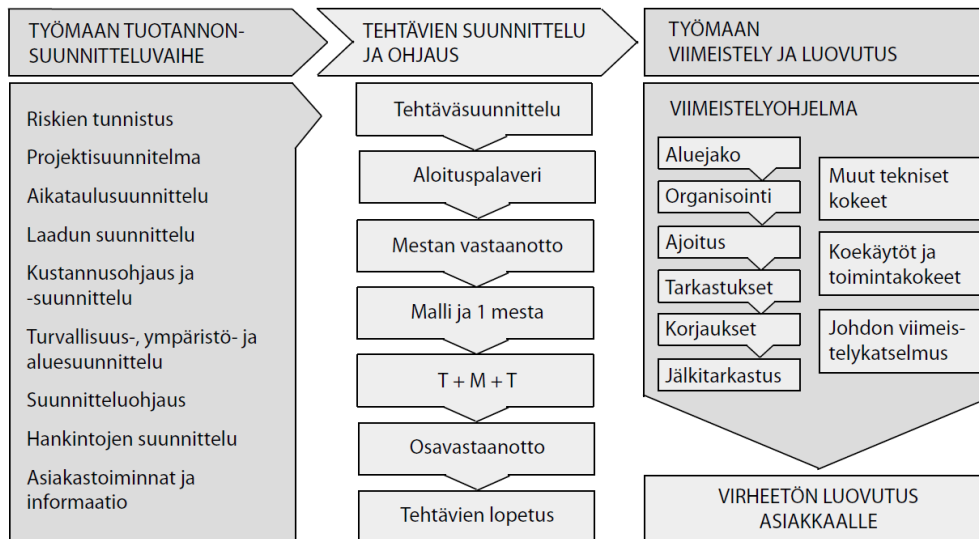
- tehtävän kustannus- ja aikataulutavoitteet
- tuotteen ja toiminnan laatuvaatimukset
- ongelmiin varautuminen ja niiden korjaavat toimenpiteet
- laadunvarmistustoimet työlle
- aloitusedellytysten varmistaminen
- työturvallisuusnäkökulma
- ympäristöön liittyvät asiat
- työmaa-alueen käyttö sekä työmaan logistiikka
- tehtävän aikainen johtaminen
- työsuorituksen kannalta välttämättömän tiedon jakaminen
- alku- ja loppupiste työlle
- valmiin työn vaatimukset

Tehtävää suunnitellessa tulee olla lähtötietoja. Lähtötietoihin on kolmea eri laatua, yleisiä, yritys-
kohtaisia sekä hankekohtaisia lähtötietoja. Yleiset lähtötiedot ovat RT-kortit ja RYL-julkaisut. Yri-
tyskohtaisia lähtötietoja ovat yrityksen sisäinen dokumentointi aiemmista projekteista. Hankekoh-
taisia lähtötietoja ovat yleisaikataulu, tavoitearvio sekä projektisuunnitelma. (8, s. 21–22)

Tehtävän suunnittelun tarkoituksena on varmistaa kaikkien osapuolien tiedostavan valmistuvan
kohteen lopullisen laatuvaatimuksen, taloudelliset tavoitteet sekä menetelmät miten valmis loppu-
tuote saavutetaan (8, s. 21).

Työn aikainen ohjaus kuuluu tehtäväsuunnittelun piiriin. Tehtäväsuunnitelmassa esitetään työn-
aikaisen ohjauksen keinot ja tiedonkulku tehtävän aikana. Ohjaukseen kuuluu muun muassa väli-
tavoitteiden seuranta, palaverikäytäntö, laadunvarmistukselliset piirteet tehtävässä ja niiden seu-
ranta sekä valmiin tehtävän luovutukseen liittyvät käytännön asiat (8, s. 27).

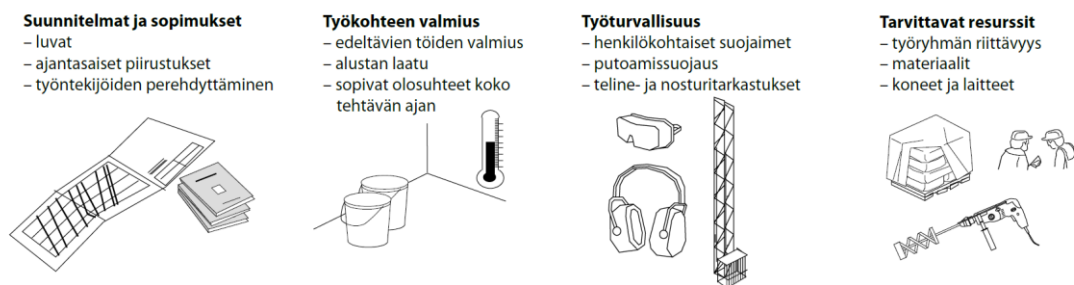
Kuvassa 10 näkyvät tuotannosuunnittelun ja tehtävien suunnittelun vaikutukset tuotannon toteu-
tukseen. Tehtävän puutteellisella suunnittelulla voi olla negatiivisiä vaikutuksia lopulliseen laatuun.



KUVA 10. Tehtävän laadunvarmistus (8, s. 21)

Tehtävää suunnitellessa ja johtaessa on syytä käyttää avuksi eri ohje- ja säännöskortteja, kuten esimerkiksi RT-kortteja. Näin ollen valmistunut lopputulos on hyvän rakennustavan mukainen. Tehtäväsuunnitelma muodostetaan jokaisesta laadunvarmistettavasta työvaiheesta, jotka löytyvät laadunvarmistusmatriisista. (8, s. 21.)

Työn häiriöttömään valmistumiseen liittyy olennaisesti työturvallisuus. Laadukas lopputulos vaarantuu, mikäli aloitusedellytykset eivät ole kunnossa (8, s. 25). Kuva 11 kuvastaa aloitusedellytysten eri laatuja. Aloitusedellytyksiin voi liittyä esimerkiksi seinäpinnan liiallinen kaltevuus laatoitus-työssä, taikka edellisen työtehtävän viimeistelemättömyys.



KUVA 11. Tehtävän aloitusedellytykset (8, s. 24)

Ongelmat rakennustuotannossa pyritään ehkäisemään, mutta kaikkia ongelmia ei voida etukäteen ehkäistä taikka kuvailla (8, s.26). Laadukkaan lopputuloksen kannalta ongelmiin varautuminen on tärkeä osa tehtäväsuunnittelua.

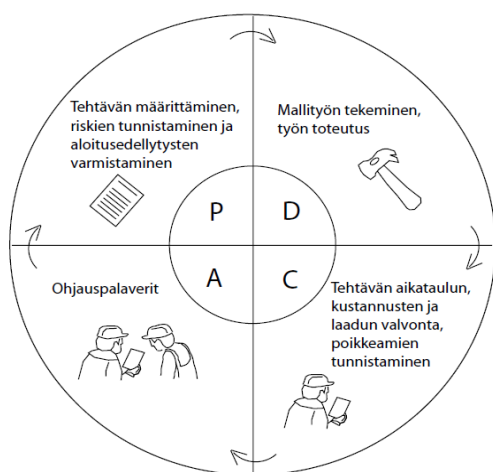
Ongelmia voivat olla esimerkiksi puutteelliset aloitusedellytykset, työkoneiden heikko kunto, tai rakennusaineiden saanti ja hankinta on epävarmaa (8, s. 26). Ongelmiin voidaan varautua aloituspalaverin muodossa. Aloituspalaverin aikana käydään luettelon 7 mukaiset tehtävään vaikuttavat asiat. (8, s. 27)

LUETTELO 7. Aloituspalaverin sisältö (8, s. 27)

- lähtöaineisto ja suunnitelmat
- tehtävän aikataulus ja työjärjestys
- tehtävään liittyvät mahdolliset muut työt
- rakennusmateriaalit ja käytettävä kalusto
- tehtävän laatuvaatimukset sekä laadunvarmistus
- tehtävän mahdolliset erityispiirteet
- työturvallisuus

Tehtävää tehdessä voi ilmetä ongelmia, mihin ei välttämättä osattu ottaa kantaa tehtäväsuunnitelmaa tehtäessä. Tällöin tehtävästä vastaava työnjohtaja joutuu ohjamaan tehtävää, ettei laadukas lopputulos vaarannu. Tehtävän aikana ongelmana voi olla esimerkiksi isot materiaalihukat, työn toteutuksen haasteellisuus syystä tai toisesta tai tehtävän teon aikana ilmenee työturvallisuuspoikkeama (8, s.27).

Kuvassa 12 esitetään laatuajattelun kehäoppimismallia. Kehäoppimismallia voi hyödyntää ja soveltaa rakennustöihin. Prosessin tai tehtävän jatkuva parantaminen kehittää prosessia laadukkaammaksi.



KUVA 12. Demingin ympyrän soveltaminen tehtävien ohjaamiseen (8, s.27)

4 TILAN RAKENTAMINEN JA SEN LAADUNVARMISTUS

Työssä käsiteltävä akustinen tila, eli kelluva huone rakennettiin teräsbetoniseen väestönsuojaan. Kelluva huone perustettiin runkolattiasta irrotettuun tunkattavaan laattaan ja teräsbetonirungosta irrotettaviin rankaseiniin. Kelluvan huoneen ala oli noin 40 m² ja rakennustilavuus oli noin 107 m³. Kelluvan huoneen käyttötarkoitukseksi muodostui musiikkihuone tai bänditila.

Teräsbetoninen ja sisältä tyhjä suorakulmainen särmiö ei ollut optimaalinen tila akustisilta ominaisuuksiltaan. Betoni on raskas ja kova rakennusmateriaali ja näiden ominaisuuksien takia se heijastaisi liikaa ääniaaltoja takaisin vastaanottajalle. Betoni ei ole myöskään paras rakennusmateriaali absorption näkökulmasta. Kelluva huoneen jokainen rakenne irrotettiin teräsbetonirungosta. Tällä saatiin aikaan parempi ääniympäristö verrattuna betoniin.

Kelluvan huoneen rakentaminen alkoi väestönsuojan pohjalaatan tasausvalulla. Tasausvalun päälle tuleva tunkattava Sylomer-lattia on asennettu tasaiselle laatalle, muuten toivotut akustiset ominaisuudet eivät toteudu.

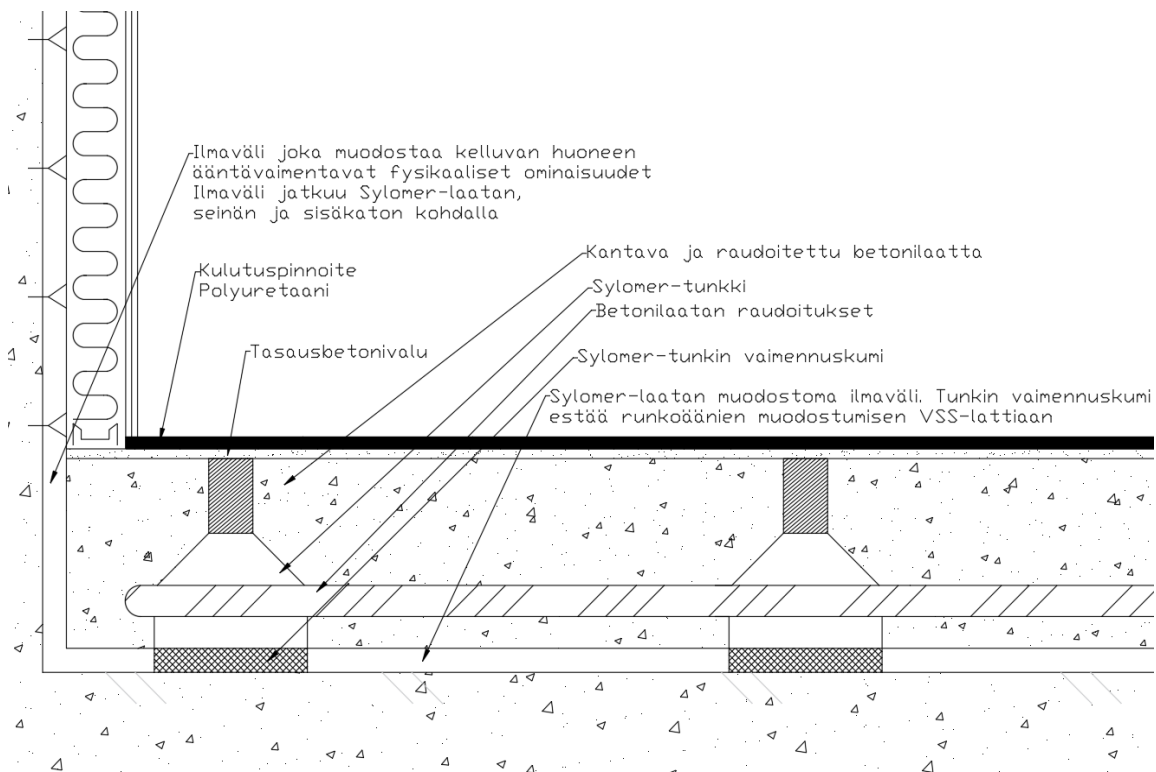
Kelluvan huoneen betonirungosta irrotetut teräsrakaseinät villoitettiin äänieristysvillalla ja seinien kulutuspinnaksi asennettiin kaksinkertainen kipsilevytys epäkeskeisellä levyjaolla. Rankaseinien kipsilevyt ylitasoitettiin sementtipohjaisella tasoitteella ja maalattiin.

Alaslaskettu sisäkatto on kaksinkertainen. Ylempi katoista on kiinnitetty teräsbetoniholviin profiili-teräskannatinjärjestelmään. Sisäkaton alapuolelle ripustettiin toinen alakatto omasta kannatinjärjestelmästä. Kumpikin katoista villoitettiin äänieristysvillalla. Tilaan asennettiin tilajaon mukaiset äänieristävyysarvon omaavat puiset ovet ja niiden heloitus.

Kelluva huone perustettiin nimensä mukaan kelluvilla rakenteille, koska ilmaväli rakenteiden ja teräsbetonirungon välillä mahdollistaa ääntä vaimentavat fysikaaliset ilmiöt. Fysikaaliset ilmiöt, jolle kelluvan huoneen toiminta perustuu ovat interferenssi (seisova aalto, äänenpaineen kaksinkertaisuus heijastavasta pinnasta) ja absorptio (äänienergian osittainen imeytyminen huokosiin rakenteisiin muuttaen osan äänienergiasta kitkan vaikutuksesta lämmöksi). Kelluva huone on irrotettu rungosta, koska taajuuden aallonpituuden mukainen etäisyys on täytyttävä ääntä vaimentavia ilmiöitä varten.

Väestönsuojan teräsbetonirungosta irrotettu Sylomer-laatta katkaisee laattaa pitkin etenevät runkoäänät ja seisovien ääniaaltojen etenemisen laatan alta takaisin vastaanottajalle. Sylomer-laatta muodostaa äänienergiaa muun muassa laatan päällä kävelemisestä. Sylomer-tunkkien pohjakumit katkaisevat myös runkoäänien muodostumisen laatalta väestönsuojan teräsbetonirunkoon.

Kuvassa 13 esitetty Sylomer-laatan ominaisuuksia ja sen muodostama ilmaväli väestönsuojan runkoon. Sylomer-tunkkien vaimennuskumit vastaanottavat laatan painon.



KUVA 13 Tunkatun Sylomer-laatan leikkauskuva ja sen muodostama ilmaväli

Kelluva huone perustuu ääntä heijastavasta pinnasta heijastuvan äänienergian ja rungosta irrotetun huokoisen rakenteen äänienergiaa imevään ilmiöön. Äänienergian heijastuminen kovasta teräsbetonista äänieristeeseen muuttaa osan ääniaallon energiasta kitkan vaikutuksesta lämpöenergiaksi. Äänienergian muuttumisella lämpöenergiaksi on äänitehoa vaimentava vaikutus.

Äänieristetyn tilan rakentamisen vaiheet ovat raportoitu alla oleviin kappaleisiinsa. Yksilöityä työvaihetta koskevalla kappaleella käydään läpi kuvassa 14 esiintyvät laadunvarmistusmatriisin laadunvarmistustoimet läpi sanallisesti.

4.1 Laadunvarmistuksen vaiheet matriisimuodossa akustisessa tilassa

Kelluvaa huonetta rakennettaessa seurattiin laadunvarmistusmatriisiin (kuva 14) mukaisia työvaiheita sekä siihen kirjattuja laadunvarmistuskeinoja. Matriisi luotiin tuotantoon osallistuneiden toimihenkilöiden keskustelujen perusteella.

Laadunvarmistusmatriisi									
Laadunvarmistustoimi	Aloituspalaveri	Mallityö	Tarkemittaus	Ongelmiin varautuminen	Oma valvonta	Kokeet ja mittaukset	Tarkastukset	Vastaanottotarkastus	Jälkikäteen toimitettava laatudokumentti
Aikataulu tehtävä									
Pohjan oikaisuvalu	X						X	X	
Sylomer-tunkkien asettelu			X	X					
Laatan valaminen ja jälkihoito				X				X	X
Laatan tunkkaaminen			X						
Laatan kuivuminen					X	X			X
Akustoivat rankaseinät		X	X	X			X	X	
Akustoiva alaslaskukatto	X	X	X	X			X	X	
Pintakäsittely					X				
Laatan pinnoitus			X				X	X	
Ovet, jalkalistat ja heloitus					X			X	

KUVA 14 Laadunvarmistusmatriisi akustisen tilan rakennusvaiheista ja niiden laadunvarmistamisesta.

Vaalealla ylärivillä on merkattu laadunvarmistuskeinojen eri muodot. Harmaalla alasarakeella on kirjattu työvaihe. Matriisimuotoon on kirjattu X, jos laadunvarmistuskeino on ollut käytössä kyseisessä työvaiheessa. Matriisimuodon laadunvarmistuksen vaiheet ovat taulukoitu omiin kappaleisiinsa. Taulukoissa nimetään laadunvarmistustoimi ja kerrotaan mitä tässä vaiheessa on tehty.

Yleiset laadunvarmistukseen liittyvät vaiheet ovat luetteloitu jokaisen kappaleeseen. Yleisen laadunvarmistuksen vaiheiden lähteenä toimii valtaosin RT-kortisto ja RatuPakki, mutta myös opinäytetyön tekijän omia havaintoja on lisätty joukkoon.

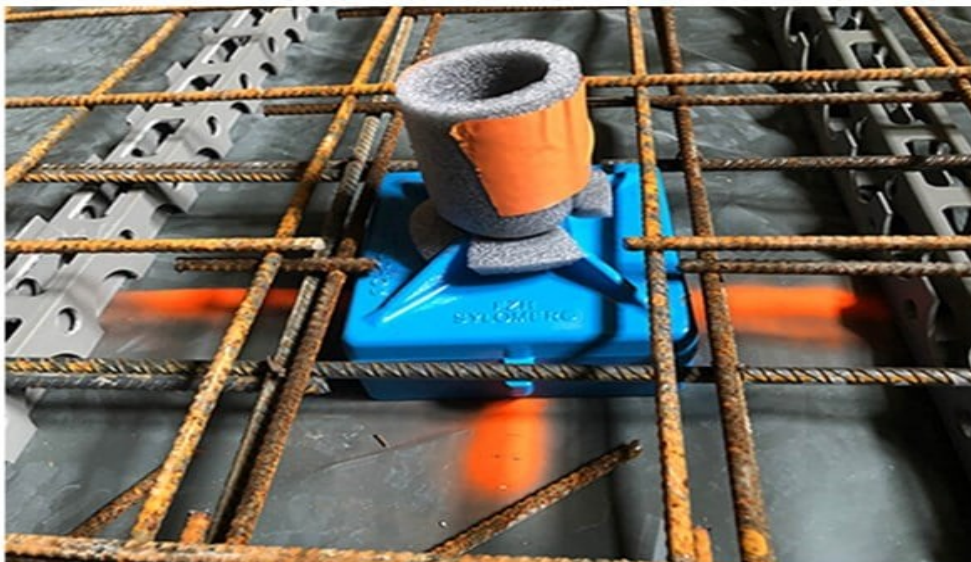
4.2 Pohjan oikaisuvalu, Sylomer-tunkkien asettelu paikalleen, raudoitus ja tunkattavan laatan valuvalmistelut

Kelluvan laatan perustukseksi valettiin oikaisuvalu. Oikaisuvalu toteutettiin itsesiliävällä lattiatasoitteella. Raakavalulattia pohjustettiin saman sideaineen pohjusteella kuin mitä lattiatasoite oli. Oikaisuvalun korkeus oli 2–3 mm riippuen pohjavalun korosta. Oikaisuvalun annettiin kuivua 1,5 vuorokautta tuuletetussa ympäristössä. Valettavan Sylomer-laatan valmistelut alkoivat oikaisuutasoitteen päälle.

Kelluvan huoneen laatta oli vahvistettu keskeisellä teräsverkolla ja tunkkien reunoilla juoksevilla harjateräksillä. Sylomer-tunkit valetaan osaksi laattaa ja sen raudoitteita.

Sylomer-tunkkien asettelussa, raudoituksessa, tunkkauksessa ja lukitsemisessa noudatettiin laitevalmistajan ohjeita. Tunkit aseteltiin muotin pohjalla sijaitsevalle irroitiskaistalle. Irroituskaista mahdollistaa valetun laatan tunkkaamisen irti kantavasta väestönsuojalattiasta.

Sylomer-tunkin toimintaperiaate perustuu tunkin pohjassa olevaan vaimennuskumiin. Sylomer-kumi eristää väestönsuojan pohjalaattaan kohdistuvista iskuista muodostuvat runkoäänät ja niiden etenemisen teräsbetonirunkoa pitkin seiniin ja muihin tiloihin. Kuvassa 15 Sylomer-tunkki raudoitettuna.



KUVA 15. Sylomer-tunkin raudoitus ja sijainti laatassa. (10.)

Luetteloon 8 on kuvattu yleiset laadunvarmistuksen vaiheet. Laadunvarmistuksen vaiheet koskevat: pohjalaatan oikaisuvalua, Sylomer-tunkkien asettelua, tunkattavan laatan raudoitusta ja sen valuvalmistelua. Lähteenä yleisen laadunvarmistuksen vaiheille toimi RT-kortisto.

Taulukossa 3 on kuvattu laadunvarmistusmatriisiin mukaiset laadunvarmistustoimet (kuva 14).

Laadunvarmistuskeinot on kuvailtu sanallisesti.

LUETTELO 8. Pohjalaatan oikaisuvalun, Sylomer-tunkkien asettelun, tunkattavan laatan raudoituksen ja sen valuvalmistelun laadunvarmistuksen vaiheet yleisellä tasolla. (11)

- Raudoitusten asianmukaisuuden tarkastaminen lujuuden ja muodon osalta.
- Raudoitusten kunnon ja laadun tarkastaminen.
- Raudoitusten asentaminen Sylomer-tunkkien asennusohjeiden mukaisesti. Tunkattavan laatan sisälle jäävien viemäreiden irrottaminen laatasta erottavalla solukumikaistalla.
- Raudoitusten suojaetäisyyksien tarkastaminen.
- Raudoitusten kiinnittymisen varmistaminen Sylomer-tunkkeihin.
- Oikaisuvalussa käytetyn massan yhteensopivuuden tarkastaminen soveltuvuuden suhteen.
- Riittävä kuivumisaika valulle. Lämpötilan ja ilmankosteuden hallitseminen kuivumisen aikana.
- Työkohteen rauhoittaminen työn ajaksi
- Tuotevalmistajien ohjeiden noudattaminen.
- Tarkastetaan irroitustaikaa peittävyys valettavalla pinta-alalla.

TAULUKKO 3. Pohjalaatan oikaisuvalun, Sylomer-tunkkien asettelun, tunkattavan laatan raudoituksen ja sen valuvalmistelun laadunvarmistus laadunvarmistusmatriisin mukaisesti.

Laadunvarmistustoimi	Tapahtuma
Aloituspalaveri	Aloituspalaveri pidettiin työryhmän kanssa, koska sama työryhmä työskenteli äänieristetyn tilan parissa alusta loppuun. Aloituspalaverissa käytiin tilan rakentamisen vaiheet läpi sekä työhön tarvittavat raaka-aineet, työkalut, aikataulut sekä yleisiä järjestelyjä koskevat asiat. Aloituspalaverin aikana käytiin tarkastamassa ja mittaamassa oikaisuvalun korko tunkattavan laatan lopullinen korko huomioiden
Tarkastukset	Tarkastus koski väestönsuojan teräsbetoni-laatan valmiutta aloittaa äänieristetyn tilan rakentamisen aloittamista. Korkomittaus ja visualinen tarkastus
Vastaanottotarkastus	Vastaanottotarkastus tehtiin tarkastamalla onko pohjantasausvalun työn jälki hyväksyttävä Sylomer-laattaa varten
Tarkemittaus Sylomer-tunkkien asettelussa	Tunkkien paikat käytiin mittaamassa paikan päällä. Tunkkijako oli syytä mitata paikan päällä, koska tunkit ovat tilaustuotteita, eikä niitä saatu lyhyellä varoitusajalla työmaalle.
Ongelmiin varautuminen Sylomer-tunkkien asettelussa	Ongelmiin varauduttiin valmistelemalla vaihtoehtoista tunkkijakoa, mikäli suunnitelmien mukaista jakoa ei voitu toteuttaa. Vaihtoehtoinen tunkkijako tietäisi lisää raudoitusta Sylomer-laattaan, jos siihen vaihtoehtoon päädyttäisiin. Tunkkijakoa ei tarvinnut muuttaa, koska tarvikkeet olivat mitoitettu riittämään.

4.3 Sylomer-laatan valaminen

Sylomer laatta valettiin raudoitettuun ja Sylomer-tunkeilla varustettuun muottiin. Muotin pohja oli varustettu huokoisella irroituskaistalla, joka mahdollisti laatan irtoamisen oikaisuvalun pinnasta.

Betonia valaessa tuli kiinnittää erityishuomiota, ettei valamisen aikana tapahdu Sylomer-tunkkien irtoamista raudoitteista. Tunkit eivät myöskään saaneet kaatua valamisen aikana taikka valun sisällä.

4.4 Valetun laatan jälkihoito ja laatan irrottaminen tunkkaamalla

Valetun laatan jälkihoito aloitettiin välittömästi valamisen jälkeen jälkihoitoaineella. Jälkihoitoa jatkettiin muutaman tunnin kuluttua asettamalla muovikelmut valetun laatan päälle liian nopean kuivumisen ehkäisemiseksi.

Laatan annettiin kuivua muovikelmujen alla 15 vuorokautta. Muovikelmuja poistettaessa tehtiin silmämääräinen tarkastus, jossa seurattiin mahdollisia halkeamia pinnassa. Halkeamia ei ollut havaittavissa, joten lattian pystyi hiomaan. Laatta hiottiin lattiahiomakoneella epätasaisuuksien poistamiseksi ja kestävyuden parantamiseksi. Laatan ympäriltä poistettiin muotit ennen laatan hionnan aloittamista.

Lattiaa hiottaessa otettiin huomioon rakennusaikainen pölynhallinta. Tila alipainesitettiin lattian hionnan ajaksi erillisellä alipaineistajalla. Lattiahiomakone oli varustettu kohdepoistolla. Laatan pinta imuroitiin huolellisesti lattiahionnan jälkeen.

Laatan imuripuhdistuksen jälkeen Sylomer-laatta tunkattiin tunkin sisäisiä kierteitä käyttämällä. Laatta tunkattiin muodostamaan n. 30 mm ilmarako Sylomer-laatan ja väestönsuojalaatan väliin. Laatta tunkattiin laitevalmistajan ohjeen mukaisesti.

Työaikainen tuuletuskanavisto rakennettiin kuivattamaan laattaa alapuolelta tunkkauksen jälkeen. Tuuletuskanavisto rakennettiin alipaineiseksi.

Luetteloon 9 on kuvattu yleiset laadunvarmistuksen vaiheet. Laadunvarmistuksen vaiheet koskevat laatan valamista, valetun laatan jälkihoitoa ja laatan tunkkaamista. Lähteenä yleisen laadunvarmistuksen vaiheille toimi RT-kortisto.

Taulukossa 4 on kuvattu laadunvarmistusmatriisin mukaiset laadunvarmistustoimet (kuva 14). Laadunvarmistuskeinot on kuvailtu sanallisesti.

LUETTELO 9. Sylomer-laatan valamisen laadunvarmistuksen vaiheet yleisellä tasolla. (11)

- Betonoinnin tulee täyttää sopimusasiakirjoissa esitetyt vaatimukset betonin laadun, betonointimenetelmän, valunopeuden, mittatarkkuuden, tiivistyksen, tasauksen, talviolosuhteiden ja jälkihoidon osalta.
- Varotaan vaurioittamasta raudoitusta tai varauksia betonoinnin tai tiivistyksen aikana.
- Betonoidaan kerralla suunnitelmien mukainen kerrospaksuus.
- Varmistetaan suunnitelmien mukaisten reikien, syvennysten, laitteiden, rakennusosien ja tartuntojen tekeminen.

(jatkuu)

LUETTELO 9 (jatkuu.)

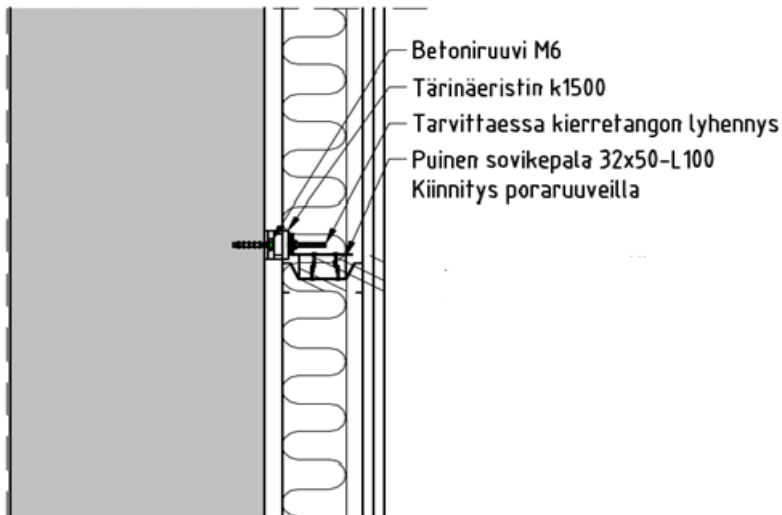
- Varmistetaan valun riittävä lujuus ennen muottien purkamista.
- Suojataan laatta betonoinnin jälkeen jälkihoidon ajaksi
- Dokumentoidaan rakenteet ennen betonointia esimerkiksi valokuvaamalla.

TAULUKKO 4. Sylomer-laatan valamisen, valetun laatan jälkihoidon, laatan tunkkaamisen ja laatan kuivumisen laadunvarmistus laadunvarmistusmatriisin mukaisesti.

Laadunvarmistustoimi	Tapahtuma
Ongelmiin varautuminen: Laatan valaminen	Laatan valamisen aikana työmaalogistiikka rauhoitettiin valualueen ympäristöstä.
Vastaanottotarkastus: Laatan valaminen	Valettavan laatan korkomittaus ja raudoitusten katselmointi ennen betonin valamista muottiin.
Jälkikäteen toimitettava laatudokumentti: Laatan valaminen	Betonointipöytäkirja, joka pitää sisällään säätiedot valun aikana, betonipumppuauton pystytyspöytäkirja ja kuormakirja.
Oma valvonta: Laatan kuivuminen	Valvonnassa kiinnitettiin huomiota muovikelmujen peittävyYTEEN sekä ilman vaihtuvuuteen tilassa.
Kokeet ja mittaukset: Laatan kuivuminen	Laatan kuivuminen todennettiin betonin suhteellisella näytepalakokeella, josta toimitettiin laatudokumentti.
Jälkikäteen toimitettava laatudokumentti: Laatan kuivuminen	Valetun betonin suhteellisen kosteuden mittauspöytäkirja.
Tarkemittaus: Laatan tunkkaaminen	Tunkattavan laatan korko mitattiin tasolaserilla. Laatan korko tarkistettiin, ettei laattaa tunkata liian korkealle.

4.5 Akustoivat rankaseinät

Akustoivat rankaseinät toimivat kuvan 16 mukaisesti. Tärinäeristin irrottaa rankaseinän 20 mm irti betonirungosta. Seinärangat olivat valmistettu muotoillusta teräksestä ja rangan sisälle asennettiin akustoiva äänieriste, jolla ei ollut lämmöneristysominaisuuksia. Kuvassa 16 esitetään akustoivan rankaseinän liittymä väestönsuojan betonirunkoon.



KUVA 16. Akustoivan rankaseinän leikkauskuva

Akustoitvien rankaseinien pintaan asennettiin kaksinkertaiset kipsilevyt epäkeskeisesti. Kipsilevyt ylitasoitettiin sementtipohjaisella seinätasoitteella. Ylitasoituksen tarkoitus on muodostaa jatkuva pinta akustoiville seinäpinnoille. Jatkuva pinnoite ehkäisee myötävärähtelyä muodostumasta seinärakenteen taakse.

Akustoitvien seinärakenteiden liittymät kattorakenteisiin toteutettiin kestoelastisella saumamassalla. Saumamassan tarkoituksena on tiivistää rakenne ja estää ääniaaltojen liikkuminen seinärakenteiden taakse muodostamaan resonanssia, eli myötävärähtelyä.

Rakenteen irrottaminen väestönsuojan rungosta mahdollistaa interferenssin ja absorption yhteistuloksena äänienergian vähenemisen rakenteessa. Akustoiva äänieriste on huokoista, jolloin absorptio muuttaa osan äänienergiasta kitkan vaikutuksesta lämmöksi. Kitkan muodostama lämpö on vähäistä, joten se ei tarvitse erillistä tarkastelua.

Luetteloon 10 on kuvattu yleiset laadunvarmistuksen vaiheet koskien akustoitvien rankaseinien asennusta. Lähteenä yleisen laadunvarmistuksen vaiheille toimi RT-kortisto.

Taulukkoon 5 on taulukoitu laadunvarmistusmatriisin mukaiset laadunvarmistustoimet (kuva 14). Laadunvarmistuskeinot on kuvailtu sanallisesti.

LUETTELO 10. Akustoitvien rankaseinien asennuksen laadunvarmistuksen vaiheet yleisellä tasolla. (11)

- Mitataan ulkoseinien todelliset etäisyydet toisistaan. Tarkastetaan väliseinälinjojen suorakulmaisuus.

(jatkuu.)

LUETTELO 10 (jatkuu.)

- Tarkistetaan, että runkomateriaali on suoraa sekä suunnitelmien- ja sopimuksenmukaista
- Levyjako ja seinärakenteeseen tulevien asennusten kiinnitystuennat.
- Teräsrunkoisen väliseinän levyjen ruuvit kiinnitetään mahdollisimman lähelle teräsprofiilin taitekohtaa. Varmistetaan, että teräsrunгон läpät ovat auki.
- Varmistetaan, etteivät levytyksen saumat ole kohdakkain seinän vastakkaisilla puolilla ja että levysauman kohdalla on aina taustatuki. Kaksinkertaisessa levytyksessä päällekkäisten kerrosten saumat eivät saa olla kohdakkain.
- Varmistetaan, ettei väliseinien äänieristeeseen jää aukkoja eivätkä putkitukset täytä villoitettavaa tilaa kokonaan.
- Väliseinät tiivistyksineen rakennetaan suunnitelmien mukaisiin mittoihin

TAULUKKO 5. Akustoivien rankaseinien asennuksen laadunvarmistus laadunvarmistusmatriisiin mukaisesti (kuva 14).

Laadunvarmistustoimi	Tapahtuma
Mallityö	Tärinäeristimen, teräsrungon ja villoituksen mallityö tehtiin ennen töiden aloitusta. Mallityö katselmoitiin ennen töiden aloitusta.
Tarkemittaus	Väestönsuojan paikallavalettujen teräsbetoniseinälinjojen kohtisuoruus tarkistettiin mittaamalla. Tärinäeristimien ja teräsrunkojen asennuksen edetessä tarkemittattiin väestönsuojan seinälinjat laserilla asennusten kohtisuoruuden ja laadun varmistamiseksi.
Ongelmiin varautuminen	Ongelmiin varauduttiin ajattelemalla vaihtoehtoisia toimintatapoja, mikäli väestönsuojan teräsbetoninen seinälinja ei olekaan vaatimustenmukainen. Raaka-aineiden kuljettaminen työmaan sisällä tuli suunnitella etukäteen, koska seinien asennuksen aikana oli muita työvaiheita vaikuttamassa sisäiseen logistiikkaan.
Tarkastukset	Rankaseinien asentamiseen tarvittavien materiaalien kunto ja laatu tarkastettiin ennen asentamisen aloittamista. Tärinäeristimien laatu tarkastettiin, koska eristimen runko on kumia, joka vanhenee ajan kanssa.
Vastaanottotarkastus	Valmistuneet seinät vastaanottotarkastettiin ennen alaslasketun sisäkaton asentamista. Vastaanottotarkastuksessa käytiin myös läpi seuraavan työvaiheen aloittamista.

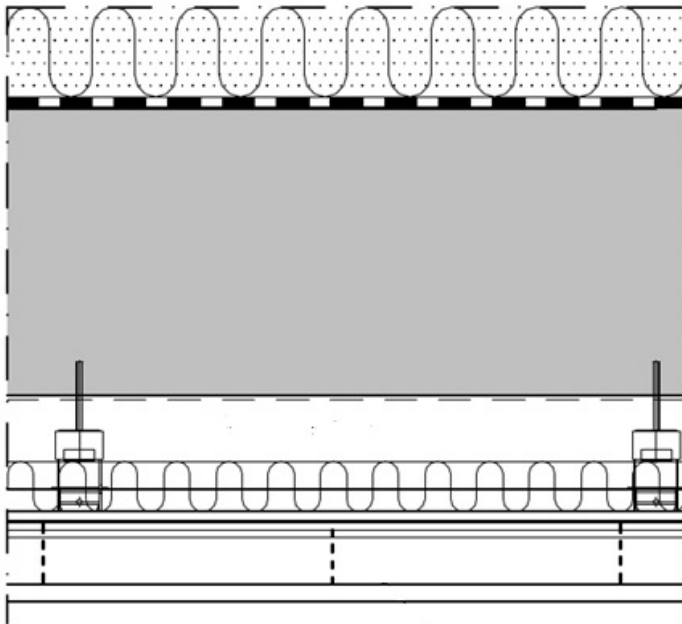
4.6 Akustoiva alaslaskukatto

Akustoiva alaslaskukatto ripustettiin toivottuun huonekorkeuteen. Asennus tapahtui väestönsuojan holviin kiinnitetyillä tärinäeristimillä. Tärinäeristimiin asennettiin kaksi teräsrankaa kaksitasoasennuksena. Tärinäeristin ja profiiliteräsranka olivat samasta tuoteperheestä.

Profiiliteräsrankoihin levytettiin kiinni havuvaneri Levyt. Havuvaneri Levyjen päälle tuli akustoiva villaeriste. Havuvanereiden alapuolelle asennettiin kaksinkertainen kipsilevytys epäkeskeisenä asennuksena. Kipsilevyjen saumoja ei asennettu päällekkäin.

Alimmainen levy ylitasoitettiin sementtipohjaisella tasoitteella, ja maalattiin. Akustiset ominaisuudet paranevat tasoituksella, koska sementtitasoitepinta estää resonanssiäänen muodostumista alaslaskukaton sisään.

Ylhäältä laskettuna toinen alaslaskukatto ripustettiin ensimmäisen katon kipsilevyistä listakannatinjärjestelmään kiinni. Alaslaskukatto ehkäisee suurimman osan äänienergian siirtymästä runkoäänenä väestönsuojan raskaisiin betonirakenteisiin. Listakannatinjärjestelmään asennetaan lopuksi akustoivat kipsilevyt.



KUVA 17. Leikkauskuva akustoivan alaslaskukaton liittymisestä väestönsuojan holvirakenteeseen

Luetteloon 11 on lueteltu yleiset laadunvarmistuksen vaiheet koskien akustoivan alakaton asennusta. Lähteenä yleisen laadunvarmistuksen vaiheille toimi RT-kortisto.

Taulukkoon 6 on taulukoitu laadunvarmistusmatriisin mukaiset laadunvarmistustoimet (kuva 14). Laadunvarmistuskeinot on kuvailtu sanallisesti.

LUETTELO 11. Yleiset laadun varmistuksen vaiheet koskien akustoivan alaslasketun katon asennusta. (11)

- Ripustusten riittävä määrä ja tiheys varmistetaan rakenneohjeista työn aikana ja sen jälkeen.
- Ripustuskorkeus mitataan laserilla, vaaituskojeella tai vastaavalla menetelmällä. Mitattu korko merkitään seiniin esimerkiksi värilangalla. Merkkiviivan suoruus tarkistetaan vesivaa'alla
- Tarkistetaan suunnitelmien mukainen ripustusjako ja -korkeus sekä seinien suoruus ennen työn aloitusta.
- Tarkistetaan LVIS-asennusten alapinnan ja ikkunoiden korkeudet sekä se, että alakattotyö ei esty poikkeamien vuoksi.
- Huolehditaan, että ripustusosat kiinnitetään pystysuoraan.
- Näkyviin jäävien listojen kulmaliittymissä listojen päät asennetaan yleensä samaan tasoon.
- Näkyviin jäävät saumat ja liittymät ovat suorja ja tasalevyisiä. Näkyviin jäävät kiinnikerivit ovat vastaavasti suorja ja kiinnikkeet rivissä tasavälein.
- Varmistetaan, ettei katon villoitukseen jää aukkoja eivätkä putkitukset täytä villoitettavaa tilaa kokonaan.
- Katot tiivistyksineen rakennetaan suunnitelmien mukaisiin mittoihin

TAULUKKO 6. Akustoivan alaslasketun katon asennuksen laadunvarmistus laadunvarmistusmatriisin mukaisesti (kuva 14).

Laadunvarmistustoimi	Tapahtuma
Mallityö	Tärinäeristimen, profiiliteräsrakojen, villoituksen sekä seinän ja katon liittymästä mallityö tehtiin pienelle pinta-alalle ennen töiden aloitusta. Mallityö katselmoitiin ennen töiden aloitusta.
Tarkemittaus	Alaslasketun katon koron sijainti tarkemittattiin korkolaserilla suhteessa seinään.
Ongelmiin varautuminen	Raaka-aineiden kuljettaminen työmaan sisällä tuli suunnitella etukäteen, koska alaslasketun katon asennuksen aikana oli muita työvaiheita vaikuttamassa sisäiseen logistiikkaan.

(jatkuu)

TAULUKKO 6. (jatkuu.)

Laadunvarmistustoimi	Tapahtuma
Tarkastukset	Asentamiseen tarvittavien materiaalien määrä, kunto ja laatu tarkastettiin ennen asentamisen aloittamista. Täri- näeristimien laatu tarkastettiin, koska eristimen runko on kumia, joka vanhenee ajan kanssa.
Vastaanottotarkastus	Katon kipsilevytyksessä vastaanottotarkastettiin ennen tasoituksen aloittamista. Tasoitustyön päätyttyä asennettiin akustoiva villalevytyksellä listakannatinjärjestelmään.

4.7 Seinien ja katon pintakäsittely

Pintakäsittely aloitettiin valmistuneille seinäpinnoille. Pintakäsittelyn tehtävänä oli luoda jatkuva ja ehjä pinta kipsilevyille. Ehjä ja jatkuva pinta vaaditaan rakenteiden sisäisen myötävärähtelyn välttämiseksi.

Pintakäsittelyssä tasoitettiin sementtipohjaisella tasoitteella kipsilevyt. Kipsilevyt nauhoitettiin. Tasoitteen kuivuttua seinäpinnat hiottiin hiekkapaperilla. Tämän jälkeen pinnat maalattiin kahden kertaan. Pohjamaalaus tiivistää tasoitteen pinnan huokokset. Pintamaali luo kestävä ja kiiltävän pinnan.

Luetteloon 12 on lueteltu yleiset laadunvarmistuksen vaiheet koskien pintakäsittelyitä. Lähteenä yleisen laadunvarmistuksen vaiheille toimi RT-kortisto.

Taulukkoon 7 on taulukoitu laadunvarmistusmatriisin mukaiset laadunvarmistustoimet koskien pintakäsittelyitä (kuva 14). Laadunvarmistuskeinot on kuvailtu sanallisesti.

LUETTELO 12. Yleiset laadunvarmistuksen vaiheet pintakäsittelyissä (11)

- Työn toteutuksessa noudatetaan tuotekohtaisia ohjeita oikaisulaastin sekoitus-suhteista, kuivumisajoista ja kerrospaksuuksista.
- Varmistetaan, että käytettävän veden ja tasoitemateriaalien lämpötilat ovat tasoitevalmistajan ohjeiden mukaisia.
- Varmistetaan, että saumanauha on kiinnittynyt tiiviisti alustaan.
- Tarkistetaan pintojen tasaisuus.
- Valitaan karkeudeltaan työhön sopiva hiontapaperi väli- ja lopulliseen hiontaan.
- Hiontapöly imuroidaan ennen maalausta.
- Maalaustöiden osalta maalin kiiltoaste, sävytys ja maalin ominaisuudet tulee vastata suunnitelma-asiakirjojen mukaisia tuotteita.
- Pintakäsittelyille ympäristö tulee olla tuulettuva ja sisälämpötilaltaan sopiva.

TAULUKKO 7. Pintakäsittelytöiden laadunvarmistus laadunvarmistusmatriisin mukaisesti (kuva 14).

Laadunvarmistustoimi	Tapahtuma
Oma valvonta	Tasointi ja maalaustöiden etenemisen valvonta sekä kuivumisolosuhteiden valvonta. Tilan tuuletuksen ja lämpötilan seuranta.

4.8 Laatan pinnoitus

Sylomer-laatan kuivumisen jälkeen laatta pinnoitettiin. Laatan pinnoitus alkoi pintaepäpuhtauksien poistamisella mekaanisesti hiomakoneella. Hionnan jälkeen laatta imuroitiin huolellisesti ja pohjustettiin tartuntapohjusteella. Tartuntapohjusteen annettiin kuivua tuotevalmistajan ohjeiden mukaisesti.

Kuivumisen jälkeen laattaan tehtiin tasauspintavalu. Tasauspintavalu oli korkeudeltaan 3 mm. Tasauspintavalun annettiin kuivua vuorokauden. Tasauspintavalun kuivuttua laatta valmisteltiin kulumkestävää pintaa varten.

Kulutuspinna toimii kaksikomponenttiuretaanipäällyste. Kaksikomponenttiuretaanipäällyste pohjustettiin tartuntapohjusteella. Tartuntapohjustetta varten tasausvalun huokospinta hiottiin auki käsihiomakoneella. Laatta imuroitiin perusteellisesti ennen pohjustamista. Tartuntapohjuste kuivui vuorokauden ennen kaksikomponenttiuretaanipäällysteen asentamista laatan päälle.

Tasausvalu, tartuntapohjuste ja kaksikomponenttiuretaanipäällyste kuuluvat samaan tuoteperheeseen ja olivat näin ollen yhteensopivat. Työvaiheissa noudatettiin valmistajan ohjeita laadun varmistamiseksi.

Luetteloon 13 on lueteltu yleiset laadunvarmistuksen vaiheet koskien laatan pinnoitusta. Lähteenä yleisen laadunvarmistuksen vaiheille toimi RT-kortisto.

Taulukkoon 8 on taulukoitu laadunvarmistusmatriisin mukaiset laadunvarmistustoimet koskien laatan pinnoitusta (kuva 14). Laadunvarmistuskeinot on kuvailtu sanallisesti.

LUETTELO 13. Yleiset laadunvarmistuksen vaiheet laatan pinnoituksessa (11)

- Tarkistetaan käsiteltävän alustan laatuvaatimukset, mitataan betonin suhteellinen kosteus.
- Massan sekoituksessa, pohjustuksessa, levityksessä ja tasoituksessa noudatetaan tuotekohtaisia ohjeita sekoitussuhteista, alustavaatimuksista ja kuivumisaajoista.
- Varmistetaan, että pohjusteen ja massapäällysteen sideaine on sama.
- Varmistetaan, että työskentelytila on vedoton pinnoitustyön ja pinnoitteen kuivumisen ajan. Veto, suora auringonvalo ja liian korkea lämpötila saattavat aiheuttaa pinnoitteen kuplimista.
- Varmistetaan päällystyksen paksuus kaatamalla massa tarkalleen riittoisuuden mukaiselle alalle.
- Tarkistetaan että pinnassa ei näy työsaumoja, jatkoksia, epätasaisuutta tai huokosia.
- Tuoreella massapinnalla liikuttaessa käytetään piikkipohjaisia kenkiä.

TAULUKKO 8. Laatan pinnoituksen laadunvarmistus laadunvarmistusmatriisiin mukaisesti (kuva 14).

Laadunvarmistustoimi	Tapahtuma
Tarkemittaus	Lattian pinnoituksessa tarkemmitattiin pinnoitteen määrä laattalle. Tarkemmittauksessa tarkastettiin myös enimmäiskorko valettavalle alueelle.
Tarkastukset	Käytettävät tuotteet tarkastettiin yhteensopivuuden sekä mahdollisten kuljetusvaurioiden varalta. Tartuntapohjuste, pinnoituskomponentit sekä päälle tuleva lakka tarkastettiin silmämääräisesti ennen asentamista tuotteiden laadun varmistamiseksi.
Vastaanottotarkastus	Pinnoitettu, lakattu ja kuivunut lattia vastaanottotarkastettiin silmämääräisesti ja dokumentoitiin valmistumisen jälkeen.

4.9 Ovet, jalkalistat ja heloitus

Akustiikkatilaan asennetaan välioivet tilajaon mukaisesti.

Akustisen tilan sisäovet ja kynnykset ovat ääniluokiteltuja. VSS-ovet ovat teräksiset ja täyttävät sisäministeriön kriisiajan vaatimukset. Kelluvan huoneen sisäovet ovat puisia. Sisäovien kynnykset ovat massiivitammiset.

Välioivet ja niiden karmien saumat toteutettiin kestoelastisella saumamassalla ja lopuksi listoitettiin massiivipuulistoilla. Saumojen alle asennettiin solukuminen pohjanauha. Saumatessa kiinnitettiin huomiota erityisesti sauman tasapaksuuteen sekä pohjanauhan jatkuvuuteen. Epäjatkuvuuskohta pohjanauhassa luo edellytykset resonoinnille.

Massiivitammi-kynnykset asennettiin liimaamalla parantamaan äänimaailmaa sekä tiivistämään karmirakenne kokonaisuudessaan.

Jalkalistat ovat massiivipuuta akustisten ominaisuuksien vuoksi. Listat kiinnitettiin ruuvaamalla.

Ovien lukituksessa ja heloituksessa ei ollut akustisia vaatimuksia. Ovien on kuitenkin lukittauduttava lukkopesään nähden tiiviisti, jotta välioivet saavuttavat niille määritetyt vaatimukset.

Väliovien kohdalla ovilehden tiivisteet katselmoitiin, että lehden tiivistenauha on jatkuva ja suunnitellun mukainen.

Luetteloon 14 on lueteltu yleiset laadunvarmistuksen vaiheet koskien ovien, jalkalistojen ja heloituksen asentamista. Lähteenä yleisen laadunvarmistuksen vaiheille toimi RT-kortisto.

Taulukkoon 9 on taulukoitu laadunvarmistusmatriisin mukaiset laadunvarmistustoimet koskien ovien, jalkalistojen ja heloituksen asentamista (kuva 14). Laadunvarmistuskeinot on kuvailtu sanallisesti.

LUETTELO 14. Yleiset laadunvarmistuksen vaiheet koskien ovien, jalkalistojen ja heloituksen asentamista (11)

- Tarkistetaan oven pielen pystysuoruus ja suorakulmaisuus ennen karmien kiinnittämistä. Ovi ei saa aueta itsestään painovoiman vaikutuksesta.
- Varmistetaan ruuvien ja kiinnitystulppien koko, lujuus, määrä ja sijainti siten, että ne kestävät normaalit rasitukset.
- Kiinnitysreiät peitetään karmien ulkonäköön sopivilla muovi- ja puutulvilla.

(jatkuu)

LUETTELO 14 (jatkuu.)

- Karmin ja seinän välinen rako tilkitään siten, että saumasta tulee tiivis, mutta karmi ei väännä.
- Rakoa tilkittäessä viereiset pinnat eivät saa vahingoittua, likaantua tai värjäytyä, joten ne on suojattava.
- Varmistetaan tiivisteiden jatkosten ja päiden huolellinen kiinnitys. Tiivisteiden tulee jatko yhtenäisenä helojen kohdalla.
- Tarkistetaan ovien puhtaus, eheys, ja sijainti rakenteessa, kiinnikkeiden oikea käyttö, käynti ja tiiviys siten, että ne vastaavat sopimusasiakirjojen vaatimuksia.
- Kynnysten asentaessa kynnyksen tulee olla tasainen kaikkiin suuntiin.
- Jalkalistojen asennus on tapahduttava yleisilmeeltään siististi. Listojen päättymistyyppin määrittäminen ja valvonta.
- Massiivipuisten jalkalistojen säilytykseen tulee kiinnittää huomiota, koska listat ovat herkkiä taipumiselle kosteuden vaikutuksesta.

TAULUKKO 9. Ovien, listoituksen ja heloituksen asennuksen laadunvarmistus laadunvarmistusmatriisiin mukaisesti (kuva 14).

Laadunvarmistustoimi	Tapahtuma
Oma valvonta	Työn valmistumista seurattiin sen edetessä. Karmien asennusta seurattiin akustisia vaatimuksia silmälläpitäen. Karmin ja kynnyksen lopputulema oli tiivis massiivielementti, joka estää ääniaaltojen etenemisen huoneesta toiseen.
Vastaanottotarkastus	Valmiit ovet vastaanottotarkastettiin toimivuudeltaan. Akustisten vaatimusten suhteen tehtiin silmämääräinen tarkastus.

5 POHDINTA

Opinnäytetyössäni esiteltyjen vaiheiden mukainen musiikkitala saatiin rakennettua taloudellisesti ja ajallisesti onnistuneesti. Valmistunutta tilaa voidaan käyttää jatkossa vaikkapa musiikkitalana. Tilaan rakennetut akustiset ominaisuudet luovat miellyttävämmän ympäristön musiikille kuin mitä teräsbetoninen väestönsuoja olisi tarjonnut.

Valitsin työni aiheeksi akustiikan ja laadun, koska olen kiinnostunut aiheista. Akustiikalla ja sen erilaisilla sovellutuksilla on monia erilaisia käyttökohteita, kuten esimerkiksi ultraäänellä on käyttöä lääketieteen sektorilla tai erilaiset äänenvaimentimet vaimentamassa ilmaan muodostuvaa äänienergiaa.

Akustiikan sovellutuksilla on selkeästi myös arkkitehtuurillisia vaikutuksia. Kelluvan huoneen rakentaminen väestönsuojaan keventää tilajaon suunnittelijan työtaakkaa siirtämällä musiikkihuone väestönsuojaan sen sijaan, että musiikkitalan rakentaminen vaatii hankkeelta lisää bruttopinta-alaa.

Akustiikan opetus rakennusalalla on kokonaisuutta ajatellen vähäistä. Akustiikka jää herkästi muiden rakennusfysikaalisten aiheiden varjoon. Akustiikka eroaa myös muista rakennusfysiikan osa-alueista siten, että käsitteet ovat luultavasti vaikeammin ymmärrettävissä kuin perinteisesti ajatellut rakennusfysiikan käsitteet, kuten lämpötila tai ilman kosteus.

Akustiikka ei itsessään ole samankaltainen luonteeltaan kuin lämpötila tai ilman kosteus. Lämpötilaa voidaan säädellä ja mitata helpommin kuin ääntä. Sisätiloissa akustiikkaan vaikuttavat pitkälti sisäilmastossa olevat asiat, kuten verhoilumateriaali, kiintokalustus, heijastavat pinnat ynnä muut sisätiloissa olevat asiat ja esineet.

Laatu on yksi tuotannon kulmakivistä. Laatu on sitoo yhteen aikataulutuksen ja budjetoinnin. Kun aikaa eikä rahaa ole, niin laatukin kärsii. Jos tuotteen toteutukseen muodostetut suunnitelmat ovat laadultaan heikkoja, niin tuotteen lopullinen laatu heikkenee.

Laadukkaaseen lopputulokseen vaikuttavat lukuisat tekijät. Niihin kuuluvat muun muassa yrityksen muodostama laadunhallintajärjestelmä, logistiikkaketju, rakennusmateriaalien oikeaoppinen varastointi, asentajien ja toimihenkilöiden ammattitaito, projektin etenemisestä vastaavan organisaation sujuva yhteistyö eri yhteistyökumppaneiden kanssa, yhteinen päätös laadukkaasta lopputuloksesta.

Loppuun asti ajateltu ja koordinoitu laadunhallintajärjestelmä tai yksittäisen työntekijän työpanos ei itsessään riitä takaamaan laatua. Tämä johtuu siitä, että varsinaista lopullista laadukasta lopputulosta varten vaaditaan koko henkilökunnan yhteistä työpanosta.

LÄHTEET

1. Suomen etymologinen sanakirja 2021. Hakusana akustiikka. Hakupäivä 12.2.2024. Verkko-haku. https://www.kotus.fi/sanakirjat/suomen_etymologinen_sanakirja
2. Kylliäinen, Mikko, Tervo, Sakari & Yli-Pietilä Arttu 2023. Talonrakentamisen akustiikka. Tampere. Tampereen yliopiston julkaisu.
3. Oulun musiikkikeskus. Valokuva. Verkko-haku. Hakupäivä 12.2.2025. <https://www.oulunmusiikkikeskus.fi/madetojan-sali.html>
4. RT 07-10881 Huoneakustiikka – ohjekortti. Rakennustieto Oy. 2006.
5. Alitalo, Sanna 2022. Tekniikan fysiikan opintojakso. Oulu. Oulun ammattikorkeakoulun opetusmateriaalit. OAMK.
6. Borenius Juhani, Jauhiainen Tapani, Nuotio Juhani, Pesonen Kari, Pyykkö Ilmari, Toivanen Jarmo & Lampio, Eero 1985. Akustiikan perusteet. Helsinki.
7. Saari, Seppo 2002. Laatuun perustuva talous. Helsinki. Tummavuoren Kirjapaino Oy
8. Rakennustieto 2017. Rakennustöiden laatu. Helsinki. Talonrakennusteollisuus ry
9. SFS-EN ISO 9000 2015, Laadunhallintajärjestelmät. Perusteet ja sanasto, Helsinki, Suomen standardisoimisliitto SFS
10. Christian Berner Oy. Tuotevalokuva. Hakupäivä 12.2.2025. <https://www.christianberner.fi/tuotteet/tarinanvaimennus-ja--eristaminen/tarinanvaimennus-rakentaminen/fzh sylomer-lattiavaimentimet/>
11. Rakennustieto, Ratu-Pakki. <https://www.rakennustieto.fi> hakupäivä 6.10.2024