

Akustoivat elementit

Akustointi ja Punkaliven mahdollisuudet

Samuli Ruohomaa

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

Koulutusala Kulttuuriala			
Koulutusohjelma Muotoilun koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Samuli Ruohomaa			
Työn nimi Akustoivat elementit - Akustointi ja Punkaliven mahdollisuudet			
Päiväys	19.04.11	Sivumäärä/Liitteet	65/2
Ohjaaja(t) Antti Kares, Heikki Nevalainen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Punkalive Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin Punkalive Oy:n käyttämän materiaalin ja valmistustekniikan mahdollisuuksia akustoivien elementtien valmistamiseen.</p> <p>Työssä käydään läpi akustiikan teoriaa ja tavallisimpien akustiikkaelementtien toimintaa. Suunnittelutyö perustuu teoriaosuuteen ja Punkaliven yrityskuvaan. Työssä on pyritty ottamaan huomioon käytännöllisyys, toimivuus, sekä ulkonäkö.</p> <p>Lopputuloksena saatiin Punkalivelle esitettäväksi kolme erityyppistä mallia. Mallien toimivuudesta ja materiaalin ominaisuuksista on esitetty arvioita, mutta niitä ei ole varmistettu mittaamalla.</p>			
Avainsanat akustiikka, ääni, puu, julkiset tilat, Punkalive			

Field of Study Culture

Degree Programme Degree Programme in Design			
Author(s) Samuli Ruohomaa			
Title of Thesis Acoustic elements – Punkalive's possibilities			
Date	19.04.11	Pages/Appendices	65/2
Supervisor(s) Antti Kares, Heikki Nevalainen			
Project/Partners Punkalive Ltd			
<p>Abstract</p> <p>The aim of the thesis was to research the possibilities of Punkalive Ltd as a manufacturer of acoustic elements.</p> <p>First, basic theory in acoustics was studied. The ways in which the most common acoustic elements work were also investigated. Designs were based on acoustic theory and the image of Punkalive. Particular attention was given to practicality, functionality and appearance.</p> <p>As a result, three different models were presented to Punkalive. Due to the lack of measurements, estimations about of the models' properties are subjective.</p>			
<p>Keywords acoustics, sound, wood, public interiors, Punkalive</p>			

AKUSTOIVAT ELEMENTIT

Akustointi ja Punkaliven mahdollisuudet

Samuli Ruohomaa

19.04.2011

Kuopion Muotoiluakatemia, Savonia-AMK

Sisällys

1. Johdanto	03
1.1 Aiheen valinta	04
1.2 Työn eteneminen	05
2. Punkalive	09
2.1 Punkalive yrityksenä	10
2.2 Punkaliven muotoilullinen tuotealusta	12
2.3 Kerto-puu	14
3. Tietoperusta	16
3.1 Akustiikka	17
3.2 Absorboivat elementit	21
3.3 Diffusoivat elementit	24
4. Prosessi	27
4.1 Vaatimukset	28
4.2 Materiaalin ominaisuudet	29
4.3 Kiinnittäminen	30
4.4 Elementit	32
5. Yhteenveto	54
Lähteet	59
Kuvaluettelo	62
Liitteet	65
Liite 1. Absorptiosuhteen määrittäminen impedanssiputkella	
Liite 2. Kerto - kantaviin rakenteisiin	

1. JOHDANTO

1.1 Aiheen valinta

Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui akustiikka omien harrastusten ja Amphion Loudspeakers Oy:llä suoritetun työharjoittelun pohjalta. Elokuvien, musiikin ja soittamisen ystävänä ääni on lähellä sydäntäni. Erilaisilla laitteilla ja erilaisissa tiloissa soitettua ja kuunneltua musiikkia nautittuani ja kärsittyäni, sekä monenlaisia asioita oppineena ajatukset kääntyivät akustiikan puoleen. Hifismi on monelle kalliiksi käyvä sairaus, jonka parissa omien akustointiratkaisujen rakentaminen toimii hyvänä tasapainona tuhannen euron kaiutinkaa-peleille. En ymmärrä varsinaisesti kumpaakaan ilmiötä. Rakennustekniikan diplomi-insinöörin opintoihin kuuluvat sähkötekniikan opinnot suorittaneena tiesin sanoa ettei jälkimmäisessä olekaan ymmärtämistä, joten päätin tutustua ensimmäiseen.

Hifiharrastajat ry:n erinomaista keskusteluforumia (<http://www.hifiharrastajat.org/forum>) selattuani kiteytyi ensimmäinen ajatus opinnäytetyöni aiheesta, jonka tarkoitus oli tutkia enemmänkin akustoinnin hyväksyttävyyttä kotitalouksissa. Lopulta opinnäytetyöni sulautui osaksi syventävää kurssia MYEY10 Teollinen muotoilu ja sain yhteistyökumppanikseni Punkalive Oy:n. Sisältökin muuttui ja pääkohdaksi nousi pohdinta Punkalivelle sopivien akustointielementtien mahdollisuuksista.

Tehtäväksi tuli akustoivien ominaisuuksien yhdistäminen Punkaliven yrityskuvaan, tuotteisiin ja materiaaleihin. Työn keskeinen ongelma on materiaalin ominaisuuksien yhdistäminen tarkoitukseen. Punkaliven yrityskuva on jo valmiiksi levollinen ja rauhallinen, joten sen yhdistäminen akustoiiviin elementteihin ei ole vaikeaa.

1.2 Työn eteneminen

Pohjimmiltani olen ongelmanratkaisija. Lähestymistapani muotoiluun edellyttää jonkin uuden ajatuksen toteuttamista tai vanhojen vikojen korjaamista. Monesti inspiraationi lähteekin muiden tekemisistä. Haettava muoto riippuu täysin toteutettavista ominaisuuksista, vaatimuksista ja rajoista. Pysin ennemminkin yksinkertaistamaan, kuin koristelemaan. Mielestäni muotoilija ei ole tutkija vaan soveltaja, jonka työ on tiedon yhdistämistä ominaisuuksiksi. Tietoa voivat olla tutkimustulokset, trendit, teknologiset vaatimukset, materiaalit, tai toiminnot.

Uskon sattumanvaraisuuteen prosessissa. Nykyisen informaatiotarjonnan laajuuden takia jo pelkästään aineiston valinta tuo prosessiin satunnaisuutta, mutta itselleni satunnaisuus on tapa ottaa sivuttaisaskelia ja lähestyä medici-ilmiota.

Kuten Frans Johansson Medici-ilmio -kirjassaan (Talentum, 2005) kertoo, innovaatioita synnyttäviä alojen välisiä välimaastoja on jatkuvasti enemmän. Kaikki välimaastot eivät kuitenkaan välttämättä tuota innovaatioita kaikille aloille, joten useiden välimaastojen tutkiminen saattaa olla tarpeellista, eikä sopivien välimaastojen valitsemiseen ole olemassa valmiita kaavoja. Kaavamaisesti tapahtuva kehitys synnyttää määräsuuntaisia ideoita, ei välimaastoideoita.

Frans Johansson aloittaa kirjansa sanoilla ”vaikka koko elämäni on tavallaan ollut johdantoa tähän kirjaan, sen kirjoittamisen idea pälkähti päähäni eräänä aamuna tyhjältä”. Samoilla linjoilla aloittaa tuotesuunnittelun ongelmista kertovan Miten avata mahdottomia ovia? -kirjan (Weilin+Göös, 1991) kirjoittaja Donald A. Norman: ”Tämän kirjan olen aina halunnut kirjoittaa, mutta en ole tiennyt sitä.”

Aiheesta on myös anekdootti, jossa taiteilijalta tilattiin kalliilla hinnalla maalaus, jonka taiteilija toimitti vielä samana päivänä. Työn tilaaja ilmoitti, ettei suostu maksamaan pyydettyä hintaa neljän tunnin työstä, mihin taiteilija vastasi, ettei maalauksen tekemiseen mennyt neljää tuntia, vaan 37 vuotta ja neljä tuntia.

Kaikkien esimerkkien taustalla kuitenkin on ajatus siitä, ettei innovaatioita synny pakottamalla. Yksi opinnäytetyöprosessini tavoitteista on tutustua oman ideointiprosessini kulkuun ja tutustuttaa siihen ajatuksia edellämainituista Donald A. Normanin ja Frans Johanssonin kirjoista, sekä Jussi T. Kosken ja Saku Tuomisen kirjasta *Kuinka ideat syntyvät* (WSOY, 2007), löytääkseni tavan jolla pystyn virittämään itseni sopivaan mielentilaan ja saamaan ideointiprosessistani hedelmällisemmän.

Yhteisiä teemoja edellä mainituissa kirjoissa on paljon. Ratkaisevan idean tulemista ei pysty ennakoimaan, eikä turhan tiedon ja ärsykkeiden

määrä ei ole koskaan liian suuri. Lepääminen, jouten olo ja vapaa-aika ovat tärkeimpiä resursseja onnistumisen kannalta. Varastaminen on välttämätöntä ja sitä on tehtävä paljon, eikä epäonnistumatta voi onnistua. Opinnäytetyön saneleman aikarajan sisällä ongelmana on kuitenkin onnistua epäonnistumaan ja olemaan tekemättä mitään riittävän paljon, että ehtii myös onnistumaan ja tekemään tarpeeksi.

Perinteisesti olen lähestynyt projekteja tutustumalla ensin aiheeseen, luomalla mielikuvia ja kehittelemällä joitakin ideoita. Saatan tehdä joitakin pikaisia luonnoksia, mutta enimmäkseen prosessi tapahtuu pääni sisällä. Tutustumisvaiheen aikana ideat jalostuvat ja niitä tulee lisää. Ne yhdistyvät, kehittyvät tai häviävät samalla kun tehtävä muuttuu tutummaksi. Koska tässä vaiheessa ideat ovat hyvin herkkiä vaikutteille, luonnokset voivat olla saman päivänkin aikana

hyvin erilaisia. Useimmiten teen luonnoksia muistiinpanoiksi tai vertaillakseni niitä keskenään ja kokeillakseni eri vaihtoehtoja, enkä niinkään esittämään ideoitani.

Kun tunnen tietäväni mistä projektissa on kyse, keskityn luomaan muutaman erilaisen ehdotelman. Ehdotelmat eivät välttämättä ole vakavastiotettavia vaihtoehtoja, sillä tässä vaiheessa on tärkeämpi saada tietää mitä halutaan. Tarkoitus voi olla jopa ärsyttää palautteen saamiseksi ja rajojen selvittämiseksi. Pidän nopeista iteroivista prosesseista, mikä tarkoittaa, että keskeneräisestä työstä haetaan palautetta, minkä jälkeen prosessin kehitysvaiheita käydään palautteen perusteella läpi uudestaan. Näin pystytään välttämään etenkin isommissa projekteissa turhaa työtä, mikäli työ onkin edennyt asiakkaan mielestä väärään suuntaan.

Jokaisen iteraatiokierroksen jälkeen ajatusten pitäisi selkiytyä ja muodon hioutua lähemmäksi lopullista muotoa. Muutokset ovat kuitenkin mahdollisia, eikä prosessi ole välttämättä lineaarinen ja myös suoraviivainen prosessin läpivienti on täysin hyväksyttävää.

Prosessi kulkee tavallisesti kuvan 1 mukaisesti. Alkuidean jälkeen työssä voidaan tehdä yksi tai useampia iteraatioita ennen lopputulokseen päätymistä. Jokaisen kierroksen aikana syntyy jotakin, josta saadun palautteen perusteella tehdään uusi iteraatiokierros, tai todetaan työ valmiiksi. Kierrokset voivat olla päällekkäisiä, jolloin edellisen kierroksen tuotoksia laajennetaan johonkin suuntaan, tai sisäkkäisiä, kuten kuvassa 2, jolloin edellisen kierroksen tuotoksia tarkennetaan.



Kuva 1. Kahden päällekkäisen iteraatiokierroksen prosessi.



Kuva 2. Kaksi sisäkkäistä iteraatiokierrosta.

2. PUNKALIVE

2.1 Punkalive yrityksenä

Punkalive on suomalainen, vuonna 2009 perustettu muotoilualan yritys, joka valmistaa Finnforestin Kerto-puusta huonekaluja, pavidjonkeja ja sisustuselementtejä. Tuotteille (kuva 3) tyypillisiä elementtejä ovat luonnollisen pehmeät ja runsaat muodot, sekä näyttävä Kerto-havupuuviilu, jonka saa halutessaan petsattuna tai laminoituna useissa eri väreissä. Tuotteet ovat kestäviä sekä muotoilultaan, että materiaaliltaan, mutta myös käytännöllisiä ja toimivia.

Nuoreksi yritykseksi Punkaliven menestys on ollut räjähdysmäistä ja yritys on haluttu messuvieras ympäri maailman. Menestyksen takana on yksilöllinen tuotantoteknologia, sekä taitavat suunnittelijat, jotka osaavat ottaa teknologiasta kaiken irti. Tuotteet ovat mittatarkkoja ja ekologisia - materiaalit tuotetaan sadan kilometrin säteellä tuotantolaitoksesta Punkaharjulla Itä-

Suomessa. Kevyt ja kestävä havupuuviilu antaa tuotteille juuret ja yritys on ylpeä alueesta ja sen historiasta: yhdeksän kilometrin mittaisen kapean harjun ja Saimaan vesistön metsät määräsi suojeltaviksi Suomen suuriruhtinas, Venäjän tsaari Aleksanteri I, jo vuonna 1803.^{[1][2]}

Suunniteltaessa tuotetta Punkalivelle on välttämätöntä ottaa huomioon käytettävä materiaali, sekä ympäristö, joiden ympärille koko yrityksen imago rakentuu.

1. <http://www.punkalive.fi/yritys/>. Luettu 25.01.2011.

2. <http://www.punkalive.fi/tuotteet/>. Luettu 29.01.2011.



Kuva 3. Koura-tuoli ja rahi (Punkalive 2011).

2.2 Punkaliven muotoilullinen tuotealusta

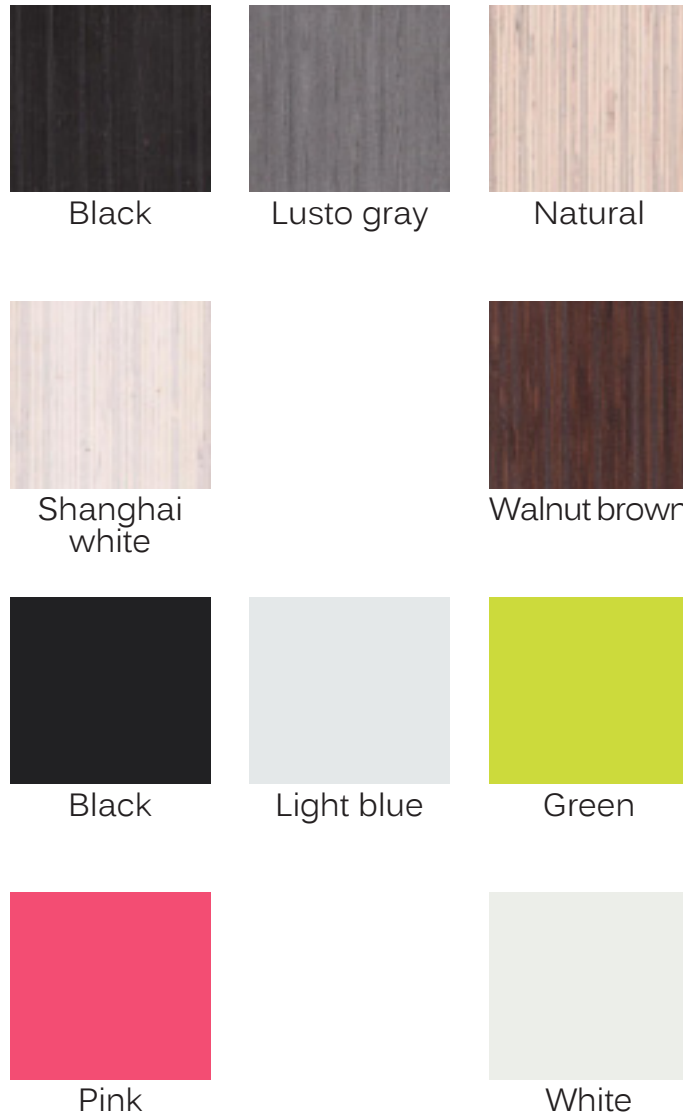
Muotoilullinen tuotealusta koostuu neljästä eri ulottuvuudesta. Ensimmäinen ulottuvuus käsittää värit, materiaalit, tekstuurit ja viimeistelyn, toinen ääriviivan, kuvion, grafiikan ja hahmon, kolmas muodon, funktion, toiminnot ja haptisuuden, ja neljäs mission, vision, filosofian, perinnön ja myytin.^[1]

Kolme ensimmäistä ulottuvuutta ovat tuotteen ominaisuuksia, joille neljäs ulottuvuus toimii ajurina. Neljäs ulottuvuus antaa tuotteille imagon, jota muut ulottuvuudet edustavat. Uusia tuotteita suunniteltaessa on aina lähdettävä neljännessä ulottuvuudesta.

1D – Materiaalit ja värit

Kaikki tuotteet rakentuvat samasta Kerto-puu -materiaalista ja viimeistelyksi tarjotaan kymmentä eri pintavaihtoehtoa (kuva 4) – viisi läpikuultavaa sävyä (black, lusto gray, natural, shanghai white, walnut brown) ja viisi lami-naattia (black, light blue, green, pink, white).

Materiaalina Kerto-puu on paksuviiluisena luonnollinen ja rauhallinen, mutta kuitenkin eläväinen. Tuotteissa viilut ovat näyttävästi esillä. Toisin kuin vanerissa, Kerto-puussa viilujen syyt menevät enimmäkseen samaan suuntaan, mikä vähentää vanerille ominaista raidallisuutta ja tekee pinnasta tasasävyisemmän.



2D – Ääriviivat ja hahmot

Hahmot ovat enimmäkseen pehmeitä, hillittyjä ja rauhallisia. Terävämpiä aksentti-kohtiakin löytyy, mutta nekin ovat luonnollisia, enemmänkin materiaalin katoamispisteitä. Muotoon vaikuttaa paljon valmistustekniikka, jossa tuotteet jyrsitään irti Kerto-puu -levyistä.

3D – Muodot ja funktiot

Tuotteet ovat yksinkertaisia ja käytännöllisiä. Muodot koristelemattomia. Enimmäkseen tuotteet muodostuvat yhdestä kappaleesta ja materiaalista. Yksinkertaisuus tekee tuotteista helppoja ja kestäviä, eivätkä ne vaadi kokoaamista.

4D – Tarina ja filosofia

Yritys markkinoi juurtensa ulottuvan 1800-luvun alkuun, vaikka onkin perustettu 2009. Historialliset tapahtumat ovat kuitenkin perusteltavissa käytetyllä materiaalilla. Ympäristönsuojelu näkyy vahvasti ja tuotteiden muotokielikin hakee esikuvia luonnosta. Luonnollisella muotokielellä perustellaan myös tuotteiden toimivuus erilaisissa kulttuureissa ja ympäristöissä.

1. McGrory & Ekman 2006.

2.3 Kerto-puu

Kerto-puu on Metsäliiton Puuteollisuuden – ulkomaan markkinoilla Finnforest – valmistama kevyt ja kestävä havupuuviilutuote. Kestävyytensä ja keveytensä lisäksi se on helppo työstettävä, eikä edellytä erikoistyökaluja. Yrityksen tuotteet perustuvat pohjoisen hitaasti kasvavaan, kestävään ja hyvännäköiseen puuraaka-aineeseen, minkä takia ne sopivat vaativiin sovelluksiin. Yritys pyrkii jatkuvalla kehitystyöllä täyttämään sekä ympäristö-, että energiavaatimukset. Kuluttaja-asiakkaita yritys ei palvele suoraan, vaan tuotteet menevät teollisuuteen tai jälleenmyyjille. Kerto-puuta on tarjolla kolmea eri laatua: Kerto-S, Kerto-Q ja Kerto-T.

Kerto-S on jäykkä, sen viilujen syyt ovat kaikki pituussuuntaan, ja se on värähtelemätön pitkilläkin jänneväleillä. Kerto-Q on kantava ja

jäykkä, siinä n. viidennes viilukerroksista on poikittain ja se eristää hyvin ääntä. Kerto-T on rakenteeltaan sama, kuin Kerto-S, mutta se tehdään kevyemmistä viiluista.^[Liite 2]

3. TIETOPERUSTA

3.1 Akustiikka

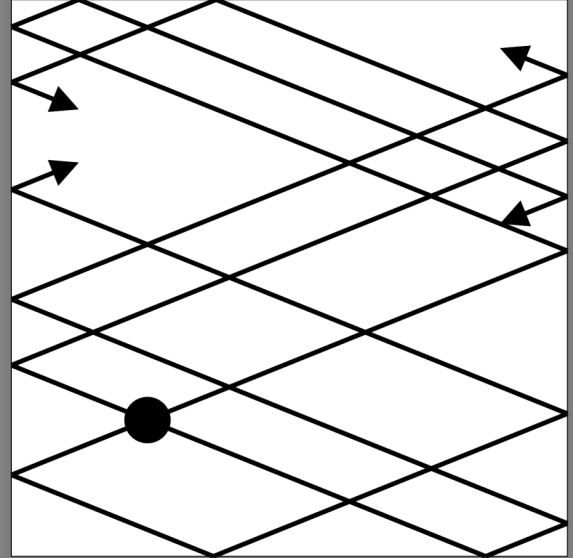
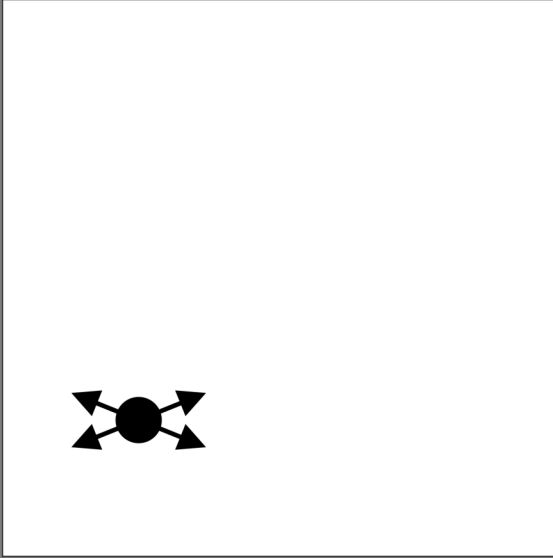
Eri tiloilla on erilaiset puitteet ja vaatimukset äänen käyttäytymiselle. Tilan akustiikka riippuu tilan koosta, muodosta, pintarakenteesta ja materiaaleista. Samansuuntaisten pintojen välille syntyy seisovia aaltoja, eli huonemoodeja, taajuuksilla, joilla seinien väli on puolet aallonpituudesta, tai sen monikerta. Seisovat aallot aiheuttavat tiettyjen taajuuksien voimistumista ja vaimentumista paikasta riippuen, mikä häiritsee enimmäkseen musiikkia kuunnellessa. Tasaisista ja kovista pinnoista ääni heijastuu lähes kuten valo peilistä (kuva 5). Jotkut materiaalit vaimentavat heijastuksia (kuva 6), kun taas rikotut ja epätasaiset pinnat hajottavat niitä (kuva 7). Uudet kevyemmät rakennusmateriaalit puolestaan päästävät enemmän ääntä läpi ja helpottavat huoneiden akustoimista. Parhaassa tapauksessa tilan käyttötapa on tiedossa jo suunnitteluvaiheessa ja se osataan ottaa huomioon, sillä korjaaminen jälkikäteen on

kallista. Kun tilojen käyttötapa muuttuu, ennen toimiva akustiikka voi muuttua kelvottomaksi, mutta vanhojen rakennusten rakenteisiin ei välttämättä voida tehdä tarvittavia korjauksia.

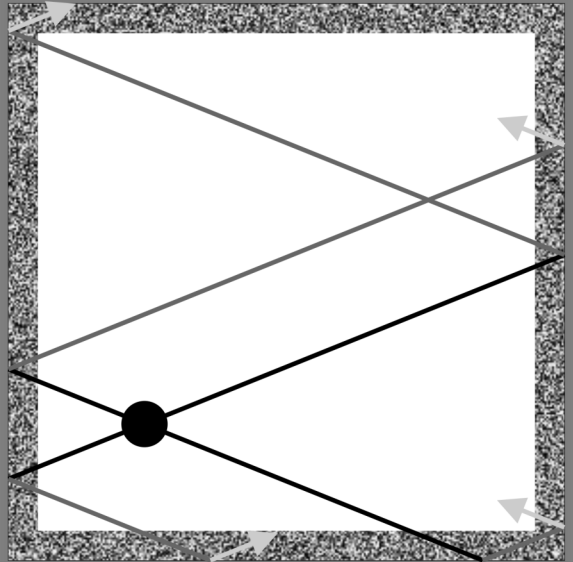
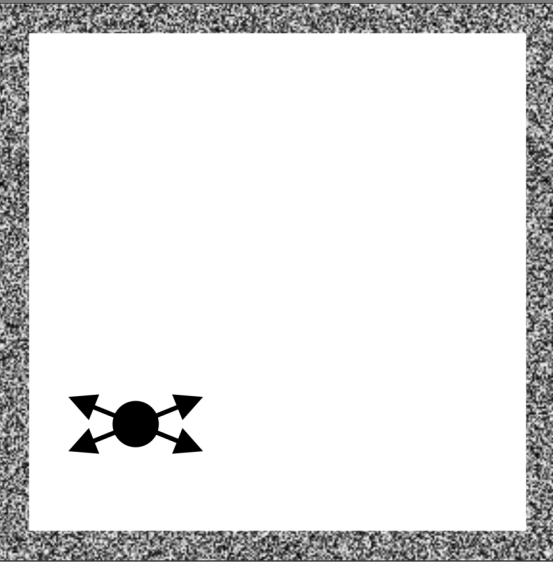
[1][2][3][4][5][17]

Äänen häiritsevyys riippuu tilanteesta, taajuudesta, tarpeellisuudesta, kaiusta, voimakkuudesta, sekä mielentilasta. Häiritsevät äänet, eli melu, voivat aiheuttaa työtehon, viihtyvyyden ja keskittymiskyvyn alenemista, sekä lisätä virheiden tekemistä. Mitä enemmän aisteja kuormitetaan, sitä enemmän ihminen rasittuu. Akustoinnilla on saavutettu toimistotyössä jopa 13% parannus tuottavuuteen, mutta akustoinnin hyödyn osoittaminen paperilla on silti hankalaa.^{[6][7][8][16]}

Hiljaisessa tilassa vaimeatkin äänet, jopa hengitys ja sydämenlyönnit, voivat olla häiritseviä. Jos huonetilaa vaimennetaan liikaa, haluttujenkin äänten taso voi laskea taustamelun tasolle. Puheäänen tulisi olla 25 dB kovempi



Kuva 5. Heijastuminen kovasta pinnasta.

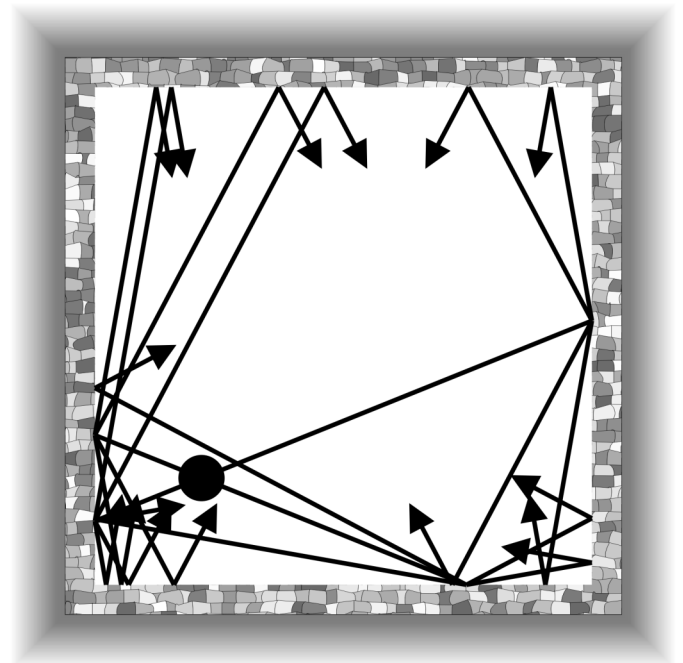
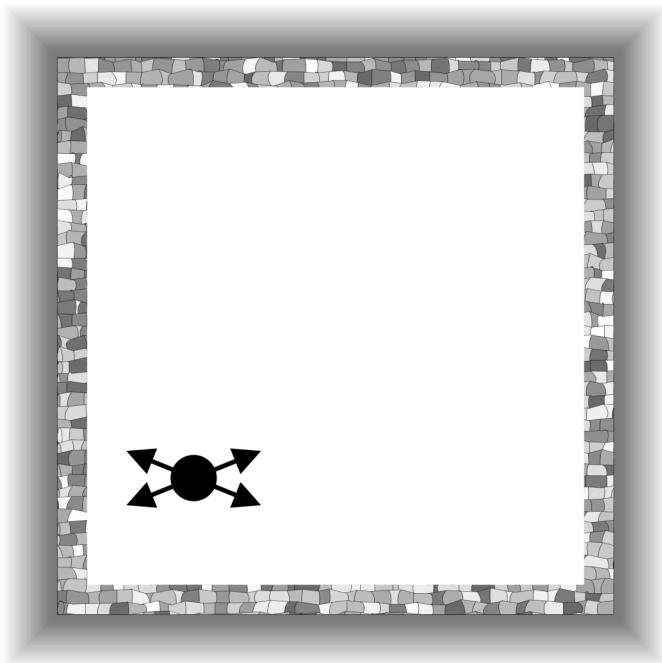


Kuva 6. Heijastuminen absorboivasta pinnasta.

kuin taustamelun. Hallitulla taustameluilla pystytään peittämään häiritseviä ääniä ja tarvittaessa voidaan käyttää myös taustamusiikkia tai -ääniä. Luottamuksellinen keskustelu kuuluu kauas hiljaisessa tilassa, mutta hukkuu kovaan puheensorinaan. Kun vaimentavat materiaalit kehitettiin 1930-luvulla, oletettiin että tilan akustointi aloitetaan isolla kasalla lasivillaa. Erittäin

meluisissa tiloissa tällainen lähestymistapa luultavasti toimiikin, mutta useimmiten tiloissa tietty määrä ääntä ja kaikua on toivottavaa, ettei tila tunnu luonnottomalta.^{[9][10][11][12]}

Ensimmäiseksi kuulija havaitsee suoraan äänilähteestä kuuluvan äänen ja sen jälkeen ensimmäiset heijastukset seinistä, katosta ja



Kuva 7. Heijastuminen diffuusoivasta pinnasta.

lattiasta. Muutaman sekunnin kymmenyksen aikana huoneen kaiut sekoittuvat ja äänikentstä tulee diffuusi, mikä tarkoittaa että kaikkialla huoneessa vallitsee sama äänenpainetaso.^[9]

Tilan akustointiin vaikuttavat myös erilaiset kovat ja pehmustetut kalusteet, jotka heijastavat ja vaimentavat ääniä. Huokoisia materiaaleja käytetään pääasiassa yli 250 Hz taajuuksien vaimentamiseen ja matalampien äänten vaimentamiseen käytetään yleensä resonaattoreita tai huokoisempia seinäpintoja. Helpoin paikka akustointimateriaaleille on katto, missä ne ovat poissa tieltä, mutta sijoittaminen seinille on usein tarpeellista. Tilan käyttötapa ja äänilähteet vaikuttavat paljon elementtien sijoittamiseen.^[13]

Kaiuttomissa tiloissa, joita käytetään usein erilaisten mittausten suorittamiseen, tarkoitus on vaimentaa täysin kaikki tiettyä taajuutta korkeammat heijastukset, jotta ne eivät vaikuta mittaustuloksiin. Yleensä kaiuttomat tilat saa-

daan aikaan peittämällä mahdollisimman paljon pinnoista lasikuidusta puristetuilla kiiloilla, joiden syvyys on $\frac{1}{4}$ alimman vaimennettavan taajuuden aallonpituudesta, usein 0.9-1.2 metriä. Elementtien kiilamaisen muodon tarkoituksena on vähentää ilman ja elementin välisen rajan jyrkkyyttä ja varmistaa että äänen tulokulma ei vaikuta vaimennukseen. Perinteisten kiilojen lisäksi erinomaisia vaimennuselementtejä ovat katosta ripustetut tetraedrit ja kuutiot.^{[14][15]}

1. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 14
2. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 27
3. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 160
4. Binggeli 2003, 405
5. Taina 2006, 4
6. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 10
7. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 12
8. Binggeli 2003, 439
9. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 50
10. Binggeli 2003, 427

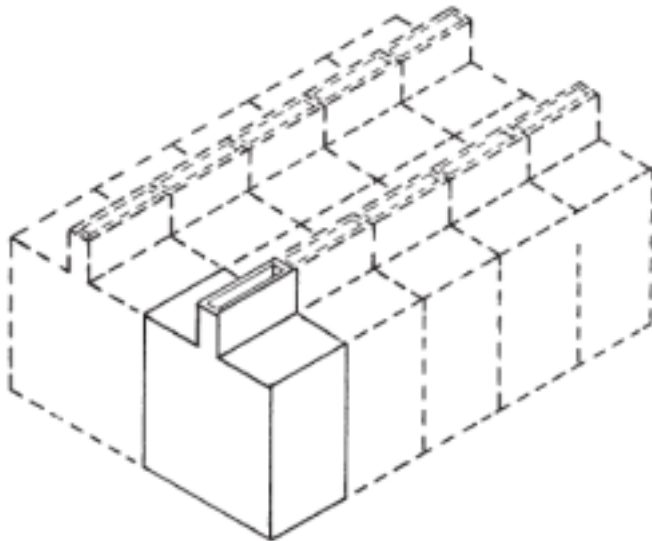
11. Binggeli 2003, 436
12. Toole 2008, 67
13. Taina 2006, 11
14. Newell 2003, 93
15. Binggeli 2003, 409
16. Belojevic, Jakovljevic & Slepcevic 2003, 77-89
17. Binggeli 2003, 400

3.2 Absorboivat elementit

Äänen vaimentaminen on usein tärkein akustointitoimenpide. Meteli on häiritseväämpää kuin huono valaistus tai ilmanlaatu. Eniten keskittymiskykyä häiritsevät puheäänet, sekä korkeat, katkonaiset tai puhtaat äänet. Yleensä vähemmän häiritseviä ääniä ovat matalat, jatkuvat, sekä laajakaistaiset äänet, mutta häiritsevyyteen vaikuttavat myös aika ja paikka, sekä henkilön suhde äänen lähteeseen.^{[1][2][3]}

Erilaisia vaimentavia materiaaleja ovat kuidut ja huokoiset materiaalit, sekä rei'itetyt levyt, joiden toiminta perustuu kitkaan ja joiden tulee olla rakenteeltaan riittävän tiheitä ja avoimia, eli ilman tulee pystyä kulkemaan materiaalin läpi. Hankalille pinnoille, kuten kaarevat seinät, on olemassa myös vaimentavaa laastia. Kerroksen paksuus on alle 38 mm ja se on paloturvallinen, mutta ei kovinkaan tehokas, eikä kestä kosteutta. Muita vaihtoehtoja ovat

erilaiset aktiiviset ja passiiviset resonaattorit, kalvot, sekä paneelit, jotka vaimentavat tiettyjä taajuuksia värähtelemällä äänen mukana. Resonaattorit värähtelevät tiettyjen taajuuksien mukana. Resonaattorit ovat kuitenkin usein isoja ja yhdistetään tilan rakenteisiin. Esimerkiksi irti seinästä asennettu puupanelointi vaimentaa tehokkaasti matalia ääniä, kuten myös ikkunat, mutta korkeilla taajuuksilla ne heijastavat ääntä.^{[1][4][5][6]}



Kuva 8. Helmholtz-resonaattoreita (Everest 2001).

Huokoisten materiaalien vaimennus on tehokkainta, kun materiaalin paksuus on vähintään neljäsosa aallonpituudesta. Useimmiten materiaalien paksuus on alle 100 mm, eikä materiaalin paksuntaminen paranna juurikaan vaimennusta tietyn rajan jälkeen. Materiaalilla ja asennustavalla on suuri vaikutus lopputulokseen. Vaimentavan materiaalin ja seinän väliin jätetyllä ilmaraolla on lähes sama vaikutus, kuin jos materiaali jatkuisi seinään asti. Korkeissa taajuuksissa on vähemmän energiaa kuin matalissa taajuuksissa, joten niiden vaimentaminen on helpompaa. Lisäksi niiden vaimentaminen onnistuu ohuemmillä elementeillä.^{[5][6][7][9][10]}

Absorboivat materiaalit eivät eristä, joten tilan äänet saattavat kuulua häiritsevästi tilan ulkopuolelle, vaikka itse tilassa ne eivät häiritseäkään. Eristävät materiaalit, kuten kivi, tiili ja betoni, ovat raskaita, tiheitä ja tiiviitä, jolloin

äännet heijastuvat niistä takaisin. Absorboivien materiaalien eristävyttä voidaan lisätä sulkeamalla elementtien takaosa foliolla tai muulla pinnoitteella.^{[6][8][11]}

Resonaattoreissa jokin massa värähtelee äänen mukana. Vaimennus perustuu siihen, että äänen energia kuluu massan värähtelyn aikaansaamiseksi. Levyresonaattoreissa levy itsessään värähtelee äänen mukana ja ominaistaajuus, jolla vaimennus on tehokkainta, riippuu levyn massasta. Helmholtz-resonaattori (kuva 8) koostuu aukosta, jonka takana on tyhjä tila. Tässä tapauksessa värähtelevä massa on aukossa oleva ilma ja tyhjässä tilassa oleva ilma toimii jousena. Ominaistaajuus riippuu aukon pinta-alasta, pituudesta, sekä tyhjän tilan tilavuudesta. Yksinkertaisin esimerkki tästä on pulloon puhaltaminen, jolloin pullo soi ominaistaajuudellaan. Ominaistaajuutta voidaan helposti nostaa lisäämällä pulloon nestettä, jolloin tyhjä tila pienenee. ^{[12][13][14]}

1. Newell 2003, 87
2. Binggeli 2003, 401
3. Binggeli 2003, 439
4. Binggeli 2003, 413
5. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 149
6. Binggeli 2003, 407
7. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 44
8. Binggeli 2003, 406
9. Binggeli 2003, 409
10. Binggeli 2003, 397
11. Binggeli 2003, 410
12. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 152
13. Cox & D'Antonio 2009, 196
14. Everest 2001, 209

3.3 Diffusoivat elementit

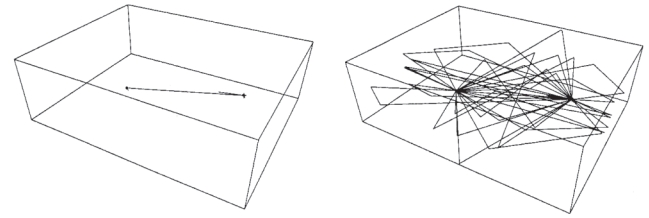
Harvassa kohteessa täysi kaiuttomuus on toivottava lopputulos. Toimistoissa, sekä huoneissa joissa on tarkoitus puhua, toivottava jälkikaiunta-aika on 0.3-0.6 sekuntia. Auditoriossa 1.5-1.8 sekuntia. Kaiku rikastaa ääntä ja antaa puhujalle palautetta. Liian pitkä jälkikaiunta-aika puolestaan peittää puheesta vokaalit. Konserttisaleissa diffusoivat elementit ovat takaseinällä toimivampi ratkaisu kuin absorboivat elementit. Kaiun hallitseminen vaimentamalla ääntä luo samalla tarpeen äänentason vahvistamiselle, kun taas diffusoivien elementtien avulla tilan ääni pysyy hyvänä pienemmillä äänenvoimakkuuksilla.^{[1][2][8]}

Kuultava ääni on useimmiten sekoitus suoraa ja heijastunutta ääntä. Mikäli suoran ja heijastuneen äänen kulkema matka on yli 17 metriä, heijastunut ääni kuullaan 50 millisekuntia myöhemmin ja tulkitaan eri ääneksi. Jos heijastus

kuullaan aikaisemmin, se vahvistaa kuultua ääntä. Puheessa heijastuksen aikaraja riippuu heijastuksen voimakkuudesta. Jos heijastus on yhtä voimakas kuin suora ääni, aikaraja on 30 millisekuntia, ja 5 dB vaimeammalle heijastukselle aikaraja on 40 millisekuntia. Riippuen tilan koosta, muodosta ja mittasuhteista, tilaan syntyy heijastuksia ja seisovia aaltoja, eli moodeja. Häiritsevät heijastukset aiheuttavat tiettyjen taajuuksien korostumista tai vaimentumista kuulijan sijainnista riippuen. Heijastuksia rikkomalla saadaan aikaan diffuusi ääni nopeammin.^{[2][3][9]}

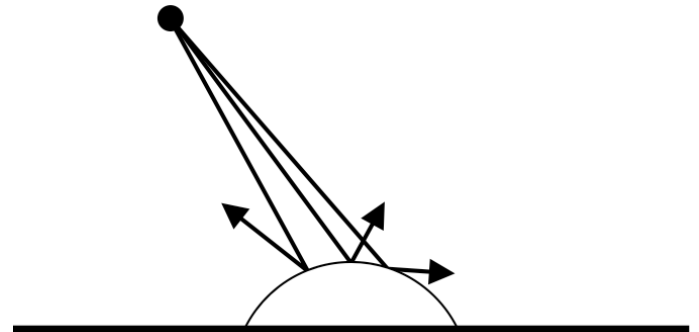
Musiikkia kuunneltaessa pidempi jälkikaiunta-aika elävöittää musiikkia ja liian absorboiva tila vie äänestä kirkkauden, sillä korkeiden äänien vaimentuminen on tehokkaampaa kuin matalien, koska matalissa taajuuksissa on enemmän energiaa kuin korkeissa taajuuksissa.^{[4][5]}

Häiritsevien heijastuksien poistamiseksi ja äänikentän tasoittamiseksi heijastuksia rikotaan epätasaisilla pinnoilla. Diffuusi ääni on toivottavaa etenkin musiikkiesityksissä, jolloin orkesteri tuntuu soivan yhtenä, eikä eri soittimien sijaintia pysty erottamaan. Tällöin kaikkialla tilassa ääni on sama (kuva 9).^{[4][5][6]}

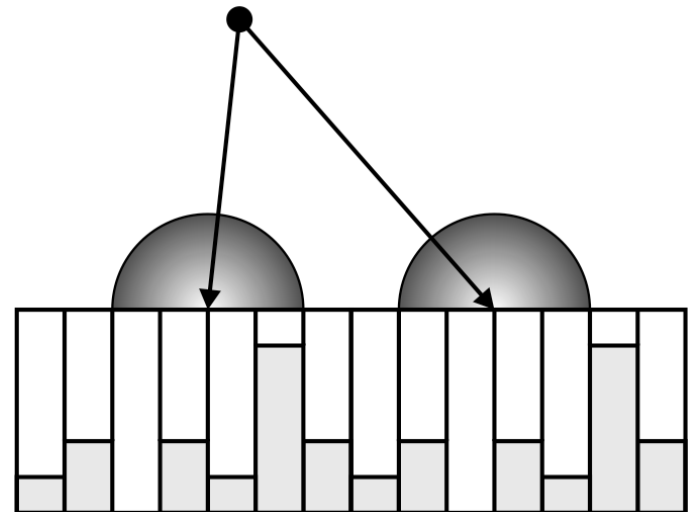


Kuva 9. Äänen muuttuminen diffuusiksi (RIL 2007).

Yksinkertaisin diffusoiva elementti on konvekssi pinta (kuva 10), jonka ongelmana on suuri koko matalilla taajuuksilla. Rakenteellisesti monimutkaisemman Schroeder-diffuusorin (kuva 11) koko on vain neljäsosa. Jos konveksin diffuusorin halkaisija 30-40 Hz taajuudella on oltava 2.5 metriä, Schroeder-diffuusorin syvyydeksi riittää 63 senttimetriä.^{[4][7]}



Kuva 10. Äänen heijastuminen konveksista pinnasta. (Newell 2003).



Kuva 11. Äänen heijastuminen Schroeder-diffuusorista (Newell 2003).

1. Binggeli 2003, 398
2. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 159
3. Binggeli 2003, 405
4. Binggeli 2003, 428
5. Binggeli 2003, 397
6. Heikinheimo 1969, 45
7. Newell 2003, 99
8. Cox & D'Antonio 2009, 31
9. Toole 2008, 161

4. PROSESSI

4.1 Vaatimukset

Merkittävin rajoite tässä työssä koskee materiaalia. Tuotteen on oltava valmistettu Kerto-puusta. Materiaalivaatimus ei ole paras mahdollinen, sillä puu ei ole hyvä absorboija verrattuna muihin vaihtoehtoihin, kuten polyuretaaniin, lasikuituun, tai selluloosakuituun. Puulla on kuitenkin mielenkiintoisia akustisia ominaisuuksia, minkä takia suurin osa soittimista valmistetaan puusta. Äänen nopeus puussa on syiden suunnassa 3500-5000 m/s. Kohtisuoraan syitä vastaan nopeus on 3-5 kertaa pienempi. Eri puut myös soivat eri tavoilla. Mitä tiheämpi puu, sitä hitaammin ääni etenee. Kerto-puu valmistetaan havupuusta, jonka tiheys on pienempi kuin lehtipuulla.^{[1][2][3]}

Puu resonoi hyvin, mutta keveytensä ja jäykkyytensä takia myös vaimenee nopeasti. Tätä ominaisuutta voidaan käyttää hyväksi suunnittelemalla elementit riittävän ohuiksi. Kevy-

emmästä massasta ei ole juurikaan vastusta värähtelylle. Materiaalin absorbointikykyä voidaan kuitenkin helposti lisätä rei'ittämällä, eli perforoimalla. Kun reiän halkaisija on riittävän pieni, noin 1 mm tai vähemmän, ilmavirran kitka reiän seinämissä vaimentaa ääntä. Vaimennus ei vielääkään yllä huokoisten absorptiomateriaalien tasolle, mutta käyttämällä molempia yhdessä saadaan kuitenkin hyvä vaimennus laajalle taajuusalueelle.^{[3][4]}

Koska työssä ei ole tarkoitus käyttää Kerto-puun lisäksi muita materiaaleja, vaimennus on toteutettava resonaattorirakenteen tai perforoinnin avulla. Sen sijaan diffuusoreissa puu toimii erinomaisesti. Heijastusten hallinta voidaan ottaa huomioon elementtien muodossa ja rakenteessa, sekä asennustavassa. Suunniteltavien elementtien käyttökohteeksi sopivat todennäköisesti erilaiset luentosalit, luokkatilat,

konserttisalit, sekä olohuoneet ja kotiteatterit, mutta niiden kanssa joudutaan varmastikin käyttämään myös muita vaimennusmateriaaleja.

Puun pinta voidaan käsitellä monilla eri tavoilla, joten se saadaan sopimaan moneen erilaiseen tilaan ja sisustukseen. Voidaan olettaa, että käytössä elementtejä asennetaan paljon rinnakkain isolle alueelle, kuten seinille ja kattoon. Tällöin tulee ottaa huomioon miten ne toimivat ryhminä, miten ne käyttäytyvät erilaisissa valaistuksissa ja eri kulmista katsottuna. Tarkoituksena on luoda mielenkiintoinen ja näyttävä tuote, joka kuitenkin ei häiritse tai varasta huomiota.

1. Binggeli 2003, 436

2. Kärkkäinen 2003, 147

3. Kärkkäinen 2003, 240

4. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 150

4.2 Materiaalin ominaisuudet

Vaimennuskertoimen mittaamiseen on olemassa erilaisia tapoja. Nopea ja tarkka putkitesti perustuu putkeen, jonka toisessa päässä on kaiutin ja mikrofoni, toisessa päässä mitattava kappale. Testi toimii parhaiten huokoisille materiaaleille, joten puun resonointiin perustuva vaikutus ei juurikaan näy.^[1]

Kaikukammioitestissä kovaseinäisen huoneen lattialle asetetaan mitattava materiaali ja mitataan jälkikaiunta-aika, jota verrataan tyhjän kammion jälkikaiunta-aikaan. Kammion seinien on oltava paitsi erittäin heijastavat, myös diffusoivat.^[1]

Purskeäänillä voidaan testata materiaaleja kuin kaiuttomassa tilassa, mutta ilman kaiutonta tilaa. Kun testiäni on riittävän lyhytkestoinen, heijastukset pystytään leikkaamaan pois mitattusta signaalista. Testissä tehdään kaksi mitta-

usta samalla etäisyydellä äänilähteestä siten, että toinen mittaus tehdään suoraan ja toinen heijastetaan mitattavan materiaalin kautta. Vertaamalla mitattuja signaaleja keskenään, saadaan materiaalin absorptiokerroin.^[2]

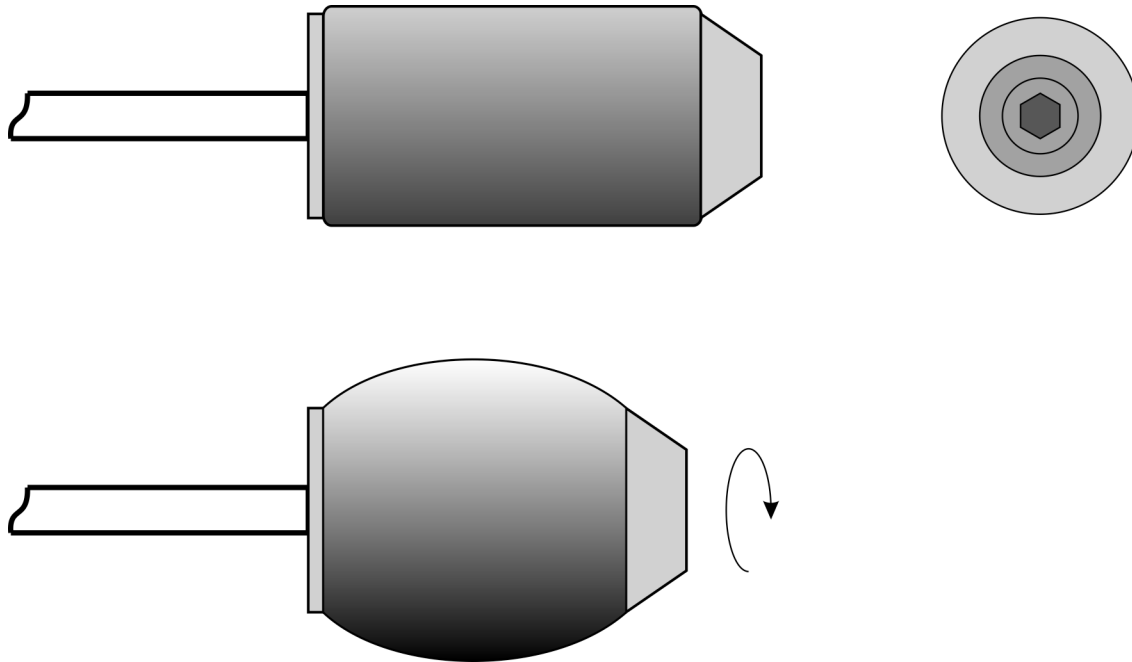
Tähän työhön liittyen Kerto-puun akustisten ominaisuuksien mittaaminen suoritetaan impedanssiputkikokeella. Koetta varten materiaalista leikataan pyöreät näytepalat, jotka asetetaan putken sisään ja tiivistetään reunoista vaseliinilla. Mittauksella saadaan selvitettyä absorptiotaajuusalueella 50-6400Hz. Mittaustulokset eivät valitettavasti kuitenkaan ehtineet tähän työhön.^[Liite 1]

1. Everest 2001, 182

2. Everest 2001, 185

4.3 Kiinnittäminen

Yksi opinnäytetyöni asiantuntijaohjaaja Heikki Nevalaisen kanssa pohdituista kriteereistä oli helppo asennettavuus ja irrotettavuus. Resonoivien elementtien yhteydessä kiinnittäminen kimmoisaan materiaaliin auttaa vaimentamaan värähtelyä, mikä voidaan helposti ottaa huomioon kiinnikkeitä suunniteltaessa. Levyresonaattorit edellyttävät taakseen suljettua ilmatilaa, jolloin ilma toimii liikettä vastustavana jousena, mutta joustavien kiinnikkeiden pitäisi hoitaa puuttuvan ilmajousen tarjoama vaimennus. Joissakin tapauksissa elementtien suuntaaminen saattaa olla tarpeen, joten päätin ottaa yhdeksi tekijäksi asennuskulman muuteltavuuden.^{[1][2]}



Kuva 12. Kiinnikkeiden osat ja toiminta.

Katosta ripustettaessa käytetään usein vaijereita, jotka on helppo kiinnittää sekä kattoon, että elementtiin, ja niiden pituutta voidaan helposti muuttaa. Seinäasennuksissa kiinnittäminen tapahtuu todennäköisesti ruuveilla.

Yksi vaihtoehto olisi käyttää moottoripyörien ohjaustankojen painoissa käytettyä tapaa, jossa ruuvia kiristettäessä painossa oleva kumi pullistuu kiinni ohjaustangon sisäpintaan (kuva 12). Kiinnitys on pitävä ja helposti avattava ja suljettava. Sopivilla materiaalivalinnoilla myös riittävän joustava vaimentaakseen elementin värähtelyt. Elementteihin tulee kuitenkin lisätä kiinnittämistä varten putket, jotka voidaan työstää samalla elementin kanssa osaksi elementtiä. Kiinnityksestä tulee käytännössä näkymätön.

1. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 152

2. Newell 2003, 192

4.4 Elementit

Ensimmäinen iteraatiokierros

Levyn paksuus on ensimmäisissä suunnitelmissa valittu summittaisesti, materiaalia näkemättä. Viime kädessä pyrkimyksenä on saada riittävän kevyt ja joustava, mutta kuitenkin kestävä elementti, jotta saadaan yhdistettyä akustiset ominaisuudet käytettävyyteen, mutta ennen kaikkea testaamista varten vertailukelpoiset kappaleet. Levyn ominaistajuus, jolla se resonoi, riippuu levyn massasta. Suurempi massa siirtää ominaistajuutta alaspäin, mutta Kerto-puu on varsin kevyttä. Kerto-S:n ja Kerto-Q:n tiheys on 480 kg/m^3 ja Kerto-T:n 410 kg/m^3 . Ominaistaajuus lasketaan kaavalla $f=60/\sqrt{(md)}$, jossa m on pintamassa [kg/m^2] ja d ilmaväli [m].^{[1][Liite 2]}

Levyille, jonka mitat ovat $600 \text{ mm} * 600 \text{ mm} * 4 \text{ mm}$ ja materiaalina Kerto-S tai Kerto-Q, saadaan pintamassaksi 2.49 kg/m^2 . Jotta

tuloksia voitaisiin verrata kuvan 13 arvoihin, valitaan ilmaväliksi 75 mm, jolloin levyn ominaistaaajuudeksi saadaan 158 Hz. Vertailun vuoksi kuvan vanerin ominaistaaajuus on 125 Hz tai vähemmän.^[1]

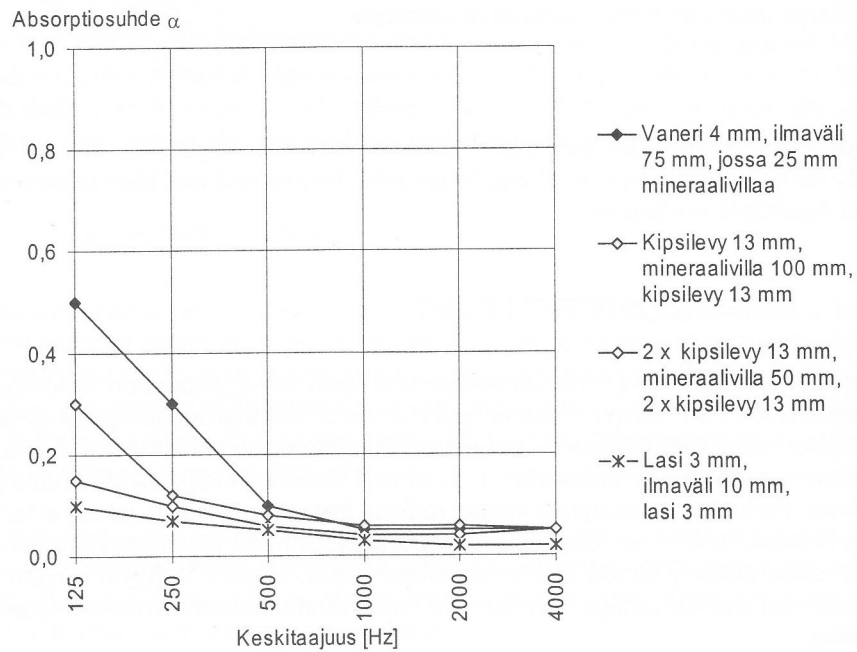
Referenssilevy 1:n (kuva 14) tarkoituksena on selvittää materiaalin perusominaisuudet. Puupaneelit vaimentavat melko tehokkaasti matalia taajuuksia jo sellaisenaan resonoimalla, mutta eri puiden ominaisuudet eroavat toisistaan ja Kerto-puulle ei ollut tarvittavia mittaustuloksia saatavilla.

Tuloksiin vaikuttavat paljon puun tiheys, syy rakenne ja jäykkyys. Kerto-puun syyrakenne on enimmäkseen samansuuntaista, Kerto-T:ssä täysin. Materiaali on myös kevyttä ja jäykkää. Tavallisesti nämä ominaisuudet tekevät materiaalista helposti resonoivan. Havupuuta on myös lehtipuuta harvempaa ja pehmeämpää, mitkä

ovat tavallisesti hyvin vaimentavan materiaalin ominaisuuksia. Yhdistettynä näiden voisi olettaa vaimentavan massiivipuuta paremmin ja korkeampia taajuuksia.^[Liite 2]

Referenssilevy 2 (kuva 15) eroaa referenssilevy 1:stä ainoastaan perforoinnin osalta. Perforointi toimii huokoisten materiaalien tavoin, jolloin absorbointi perustuu reiän seinämien ja ilmavirran väliseen kitkaan. Testaamalla referenssilevyt 1 ja 2 erikseen saadaan mitattua paljonko parempi tulos perforoinnilla saadaan aikaan. Vaikutuksen arviointi on hankalaa, sillä en onnistunut löytämään mittaustietoa perforoimattoman ja perforoidun materiaalin vertailusta, mutta perforoinnin lisääminen siirtää parhaan vaimennuksen aluetta taajuusalueella ylöspäin ja parantaa vaimennusta korkeilla taajuuksilla.^[2]

Rinne (kuva 16) perustui perinteisen kaiutumissa huoneissa käytettyyn kiilamuotoon, mutta tarkoituksena oli pehmentää sen muo-



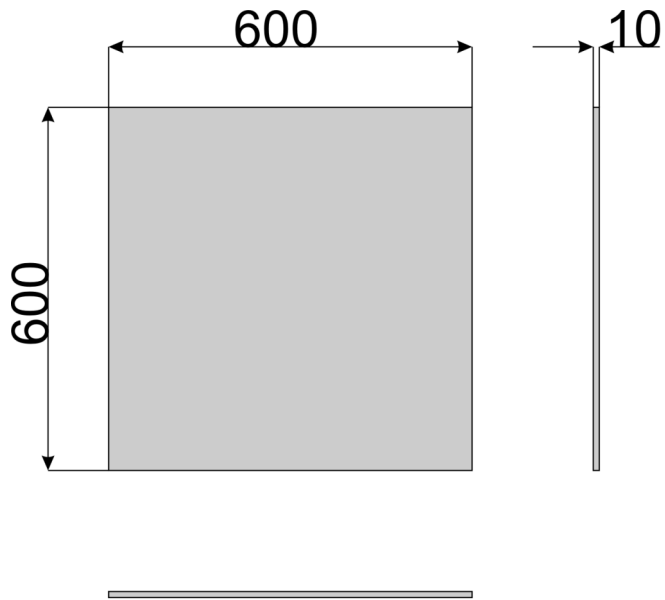
Kuva 13. Levyresonaattoreiden mitattuja vaimennusarvoja (RIL 2007).

toja. Kerto-puun pinta on melko säännöllistä ja viilujen välit tekevät vahvan rytmin, joka tuo eloa muotoihin ja muuttuu katselukulmasta ja valosta riippuen. Tässä muoto yhdistää yksinkertaisella tavalla diffusoivia ja resonoivia ominaisuuksia ja voidaan helposti perforoida absorption parantamiseksi. Sellaisenaan muoto ei kuitenkaan käy valmistettavaksi, sillä valmistustekniikka ei mahdollista kahteen suuntaan muuttuvia pintoja. Vaadittavien muutosten jälkeen elementistä kuitenkin katoavat ne ominaisuudet, jotka tulevat esiin aseteltaessa elementtejä rinnakkain.

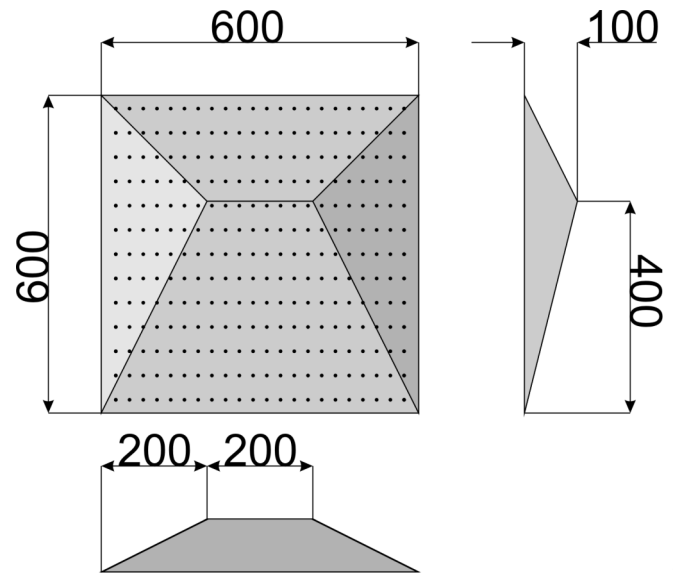
Lehti (kuva 17) oli askel pois neliön muotoisesta elementistä. Valmistusteknisesti sekään ei onnistu samasta syystä kuin Rinne, mutta se tarjoaa mielenkiintoisia asennusmahdollisuuksia. Eri asennoilla ja ryhmityksillä saa-

daan elävää pintaa ja rytmiä. Jos elementit ripustetaan kattoon, niiden ripustuskorkeutta ja kulmaa muuttamalla saadaan vielä enemmän vaihtoehtoja.

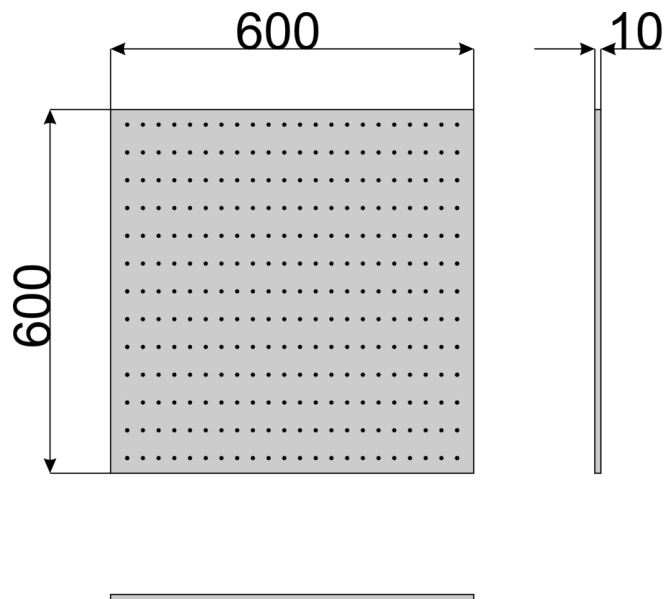
Huhta (kuva 18) pyrki kokeilemaan kerrosrakenteen mahdollisuuksia kartiohuhtasienen rakenteen kautta. Elementti koostuu kolmesta päällekkäisestä levystä, jotka ovat samanlaisia ja asetettu 90 asteen kulmaan edelliseen kerrokseen nähden. Päällekkäiset kerrokset luovat rikutun pinnan, sekä onkaloita, jotka hajottavat ääntä. Toteuttaminen lienee periaatteessa mahdollista, mutta yhden kerroksen paksuuden pitäisi olla luultavasti niin ohut, ettei se käytännössä onnistu. Vaihtoehtona voisi olla käyttää tiheämpiä reikiä ja tehdä lopputuloksesta seittimäisempi, mutta tällöin lähestytään rakenteelta kuiturakenteisia vaimennusmateriaaleja, jollaiseksi rakenne on kuitenkin liian jäykkä ja harva.



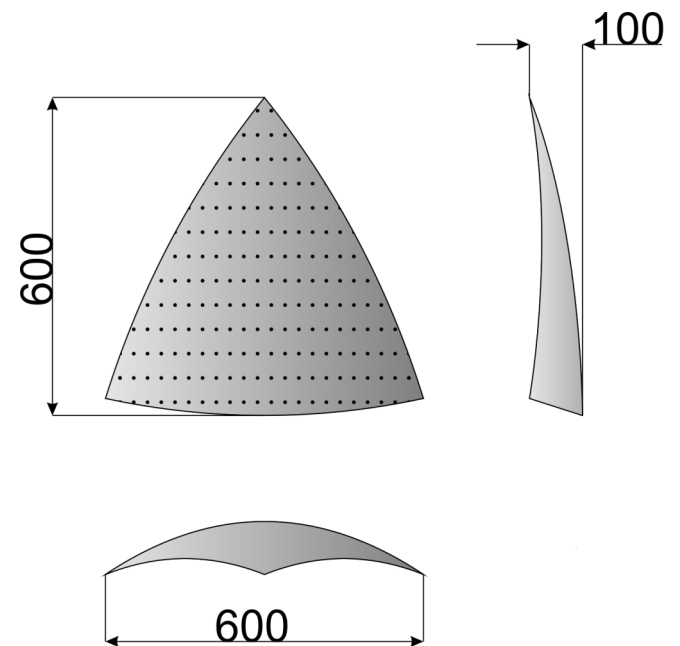
Kuva 14. Referenssilevy 1.



Kuva 16. Rinne.



Kuva 15. Referenssilevy 2.



Kuva 17. Lehti.

Törmän (kuva 19) muoto mukailee rantaviivaa yhdistäen sen Schroeder-diffuuseriin. Samalla pinnasta tulee isompi, jolloin se värähtelee helpommin. Valon ja varjon suhteen syvä muoto saattaa olla synkkä, mutta sopivalla valaistuksella siitä on mahdollista saada näyttävä ja elävä.

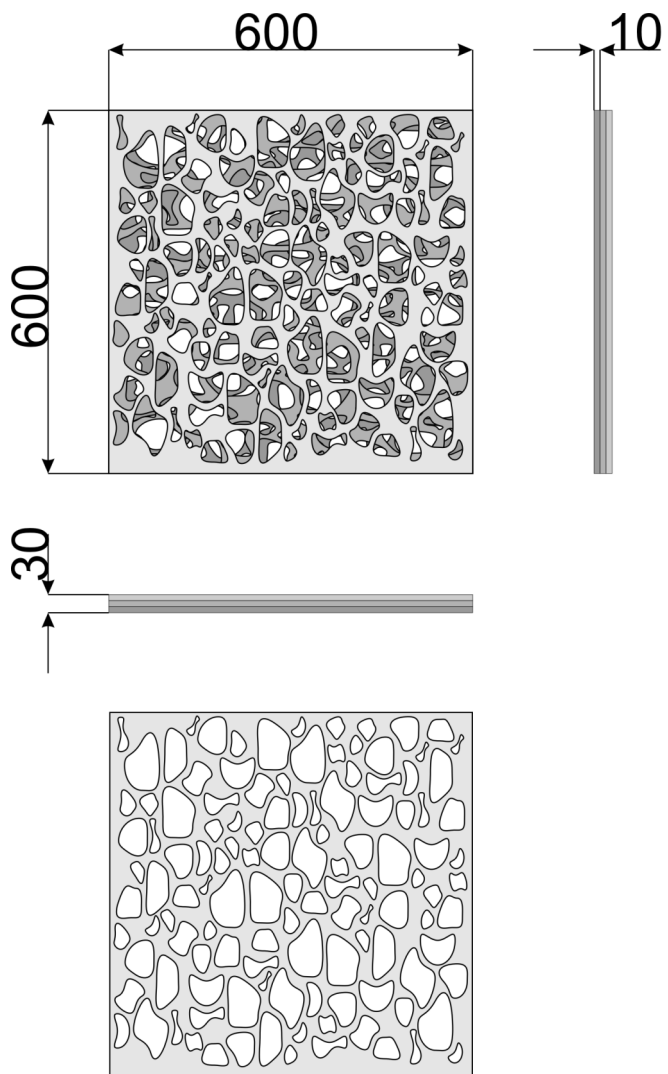
Toinen iteraatiokierros

Muodon perustaksi hain tällä kertaa rakenteita kasvien lehdistä, sekä matematiikasta. Lisäksi mietin mahdollisuutta käyttää seisovia aaltoja elementtien resonoinnissa. Avoimeen putkeen syntyy seisovia aaltoja siten, että pisin aallonpituus on kaksinkertainen putken pituuteen nähden. Esimerkiksi 10 cm mittaisessa putkessa syntyvän matalimman seisovan aallon taajuus olisi 1715 Hz. Toisesta päästä suljetussa putkessa pisin aallonpituus on nelinkertainen. Ideana on, että elementti soi seisovan aallon mukana ja vaimenee elementin kiinnikkeisiin. Tällöin elementeistä pitäisi valmistaa eri mittai-

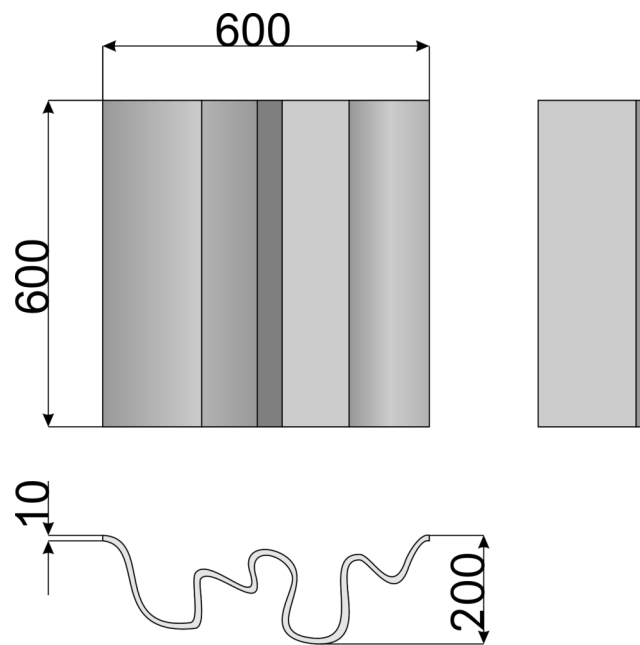
sia versioita riippuen kohdetilan ongelmataajuuksista. Toinen mahdollisuus olisi valmistaa elementin putkista eri mittaisia.

Toisen kierroksen merkittävimmät tekijät ovat kuitenkin neliöpohjasta irtautuminen ja valmistustekniikan huomioiminen, minkä seurauksena olen joutunut katsomaan asioita ikäänkuin sivusta. Ensimmäinen kierros oli enemmän sidoksissa perinteisiin elementtiratkaisuihin ja oppikirjaesimerkkeihin, kun nyt nojaan ehkä enemmän Punkaliven tuotteisiin. Neliön korvaa kuusikulma, joita on helppo latoa vierekkäin eri asentoihin. Avoimet rakenteet mahdollistavat ilmanvaihdon ja valaistuksen toteuttamisen elementtien läpi ja aukot voidaan haluttaessa täyttää erilaisilla absorboivilla materiaaleilla. Pysin kuitenkin pitämään elementit yhä 600 mm * 600 mm kokoisina.

Ensimmäiseksi kokeilin putkien yhdistämistä solukoksi, ilman mitään selkeämpää rakennetta. Päädyin ratkaisuun, jossa putket tarttuvat



Kuva 18. Huhta ja yksittäinen levy.



Kuva 19. Törmä.

toisiinsa kuin kosteuden yhdistäminä (kuva 20). Muoto olisi jyrkävissä helposti ja eläisi katselukulman mukana. Lisäksi sitä voitaisiin käyttää seinässä ja katossa, hyllynä tai valojen upottamiseen. Avonaisena rakenteena se ei peitä ilmastointikanavia, tai estä valon kulke- mista. En kuitenkaan miettinyt elementtien yhdistämistä, joten latominen suurille pinnoille ei onnistu kovinkaan järkevästi.

Seuraavat muodot perustuivat logaritmiseen spiraaliin, jolloin elementit istuivat paremmin vierekkäin (kuva 21). Pyöreiden muotojen vertailukohdaksi kokeilin samaa kuusikulmaisilla putkilla (kuva 22). Kuusikulmaiset muodot on helpompi yhdistää toisiinsa ja ovat käytännöllisempiä, mutta näyttävät ehkä liian kaavamaisilta. Ne saattavat myös kannustaa asettelemaan elementit kiinni toisiinsa, mikä saattaa aiheuttaa räminää elementtien värähdellessä.

Pyöreästä spiraalimuodosta tein myös kokei- lun toiseen suuntaan. Putkien sijaan käsittelin muotoja pylväinä ja Helmholtz-resonaattoreina (kuva 23). Tein pylväiden kylkiin pitkittäiset aukot ja liitin niiden päihin kannet. Ominaistaaajuutta voidaan muuttaa tässäkin tapauksessa helposti muuttamalla elementin korkeutta.

Koska äänen absorptio perustuu äänienergian muuttumiseen lämpöenergiaksi, hahmottelin ajatuksen elektroniikkakomponenttien jäähdy- tyssiilien rivoista (kuva 24). Yhdistettynä taas kuusikulmaiseen pohjaan, elementtejä voi- daan latoa muodostamaan erilaisia kuvioita. Eri asennoissa elementit myös heijastavat ääntä eri tavoin. Elementit voidaan valmistaa siten, että pinta on vain epätasainen ja rivat yhtä pitkiä, mutta myös Schroeder-diffuusorin tavoin, jolloin ripojen pituus vaihtelee.

Rakenneseminaarista sain palautetta yksinkertaistamisesta. Mallit olivat sinänsä kiinnostavia, mutta yksinkertaisempi modulaarinen rakenne tekisi tuotteesta edullisemman ja siitä saisi helposti sopivan ratkaisun useampaan eri kohteeseen.

Kolmas iteraatiokierros

Rakenneseminaarista saamani palautteen perusteella koitin miettiä edullisempaa vaihtoehtoa. Putkista jäisi paljon materiaalia yli ja sain palautetta mallien yksinkertaistamisesta. Mallit olivat kiinnostavia, mutta yksinkertaisempi modulaarinen rakenne tekisi tuotteesta edullisemman ja siitä saisi helposti sopivan ratkaisun useampaan eri kohteeseen.

Uutena ajatuksena oli jyrsiä levystä aallonmuotoisia kappaleita, jotka voidaan kiinnittää toisiinsa siten, että lopputuloksena on erilaisia elementtejä (kuva 25). Muodon lainasin ensimmäisen iteraatiokierroksen Törmästä.

Perustana oli pohja, jossa kappaleet voidaan kiinnittää toisiinsa kappaleen päistä ja keskeltä, sekä 5 cm sivusuuntaan (kuva 26). Kappaleiden kiinnittäminen onnistuu toisiinsa suoraan, ylösalaisin, sekä 5 cm poikkeamalla. Pinnasta saadaan elävä ja elementeistä voidaan tehdä isojakin yhtenäisiä pintoja. Pinta voi olla umpinainen, tai siinä voi olla rakoja. Näin siitä voidaan koota eristäviä ja läpäiseviä pintoja.

1. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, 152
2. Everest 2001, 218



Kuva 20. Solukkorakennekokeilu.



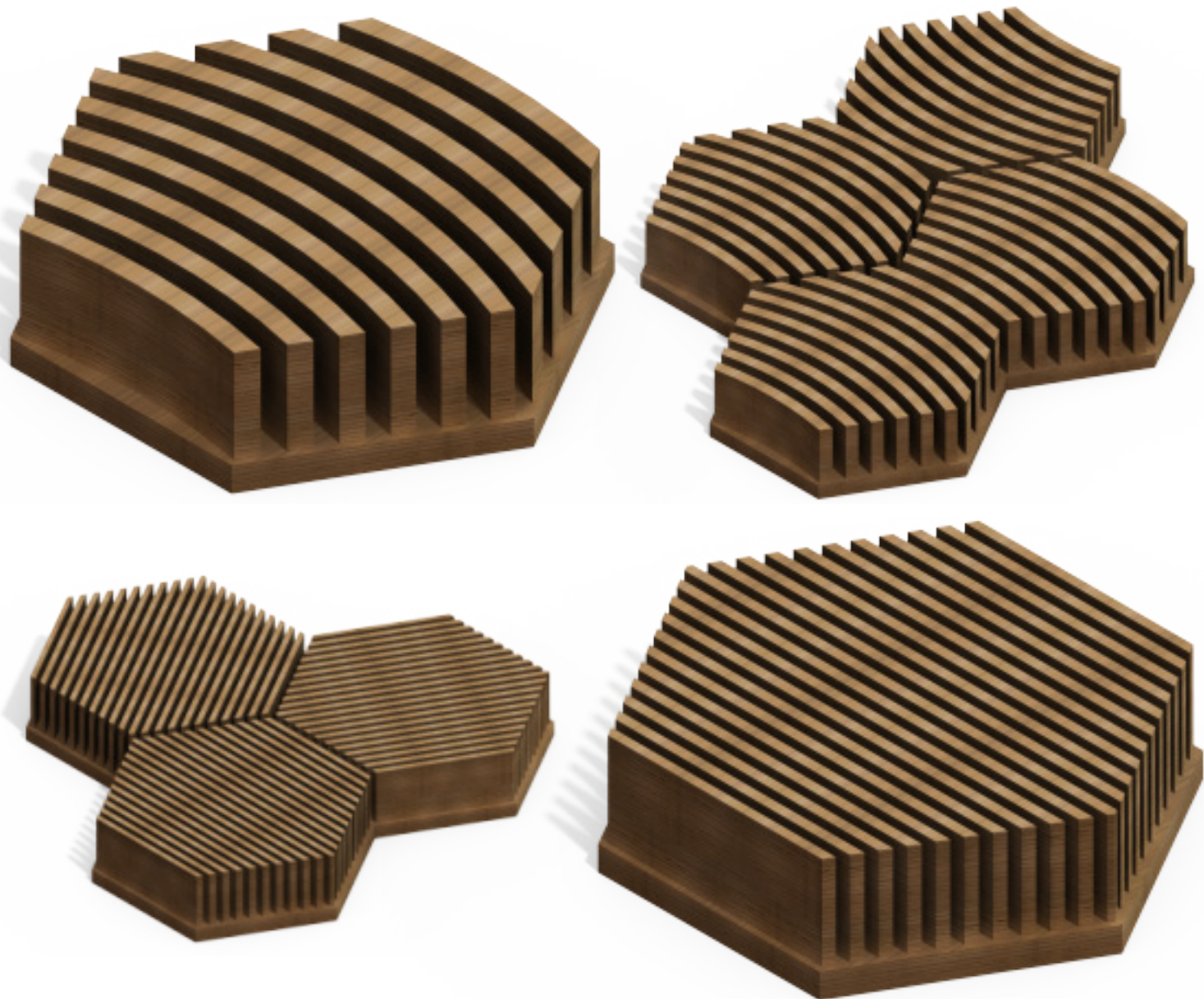
Kuva 21. Pyöreämuotoinen spiraaliputkisto.



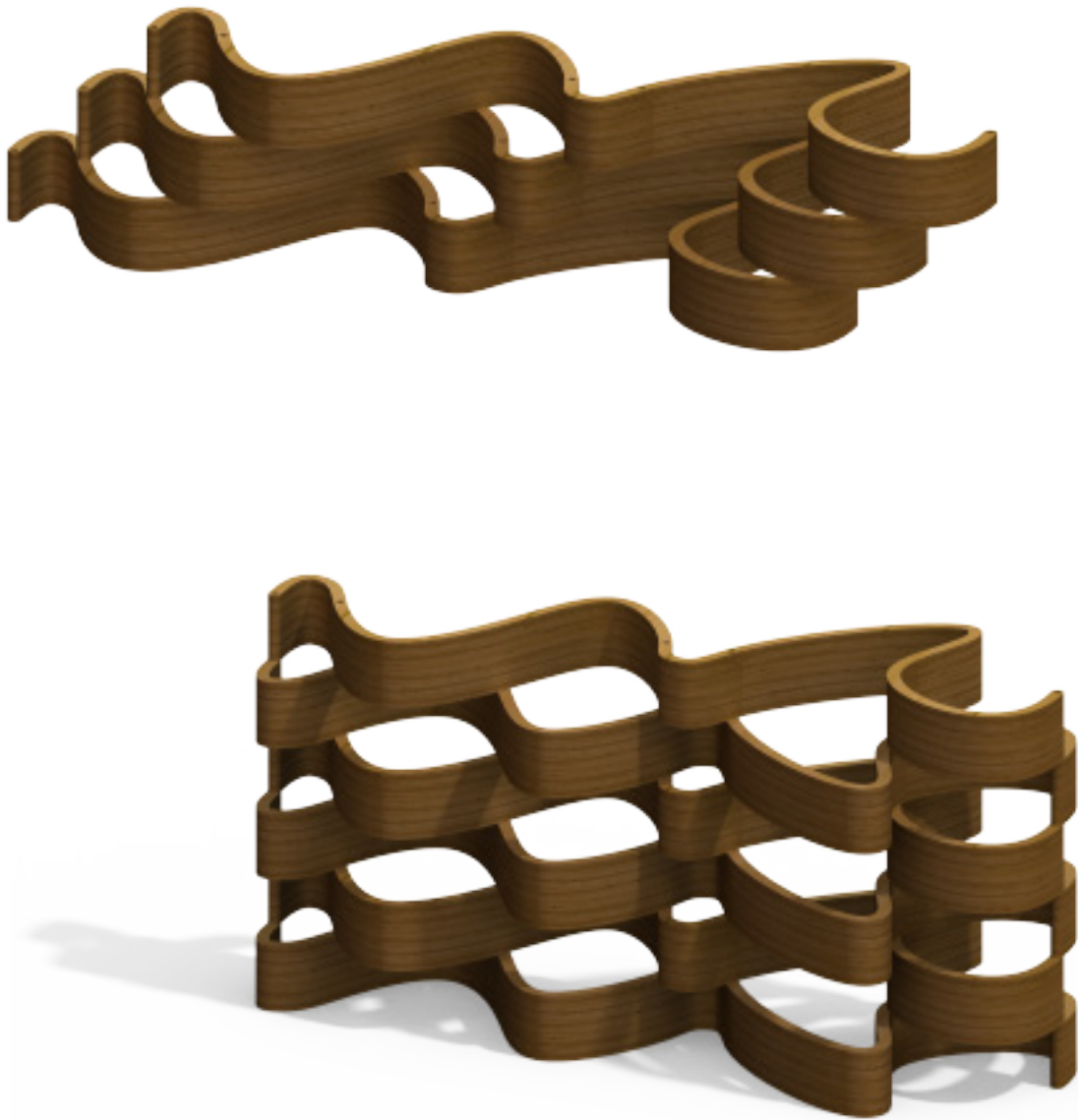
Kuva 22. Kuusikulmainen spiraaliputkisto.



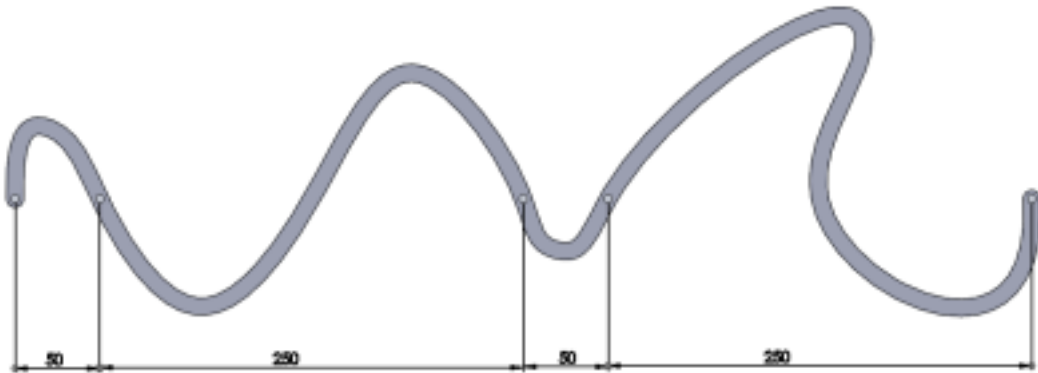
Kuva 23. Helmholtz-resonaattori.



Kuva 24. Rivoitetut elementit.



Kuva 25. Esimerkkejä aaltojen kiinnittämisestä toisiinsa.

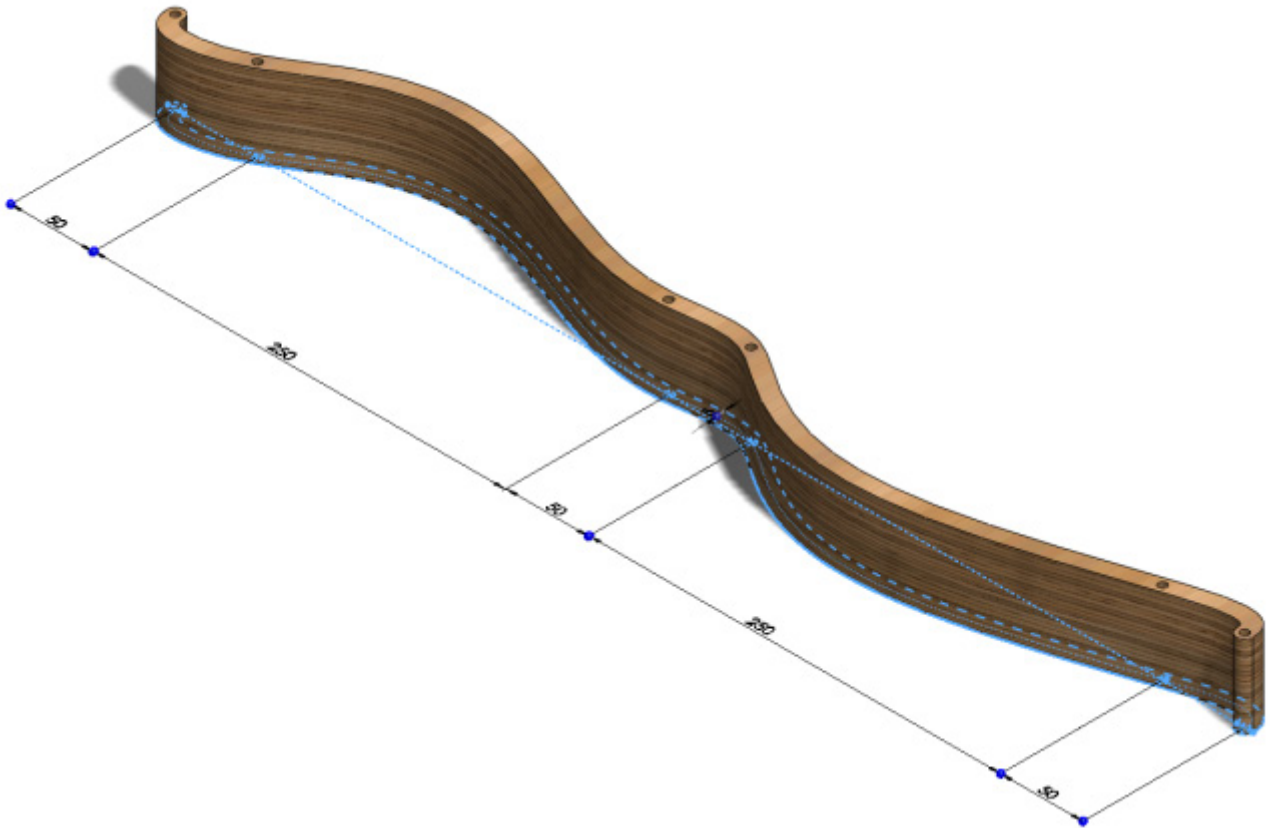


Kuva 26. Yksittäinen aalto, sekä kiinnitysreikien paikat.

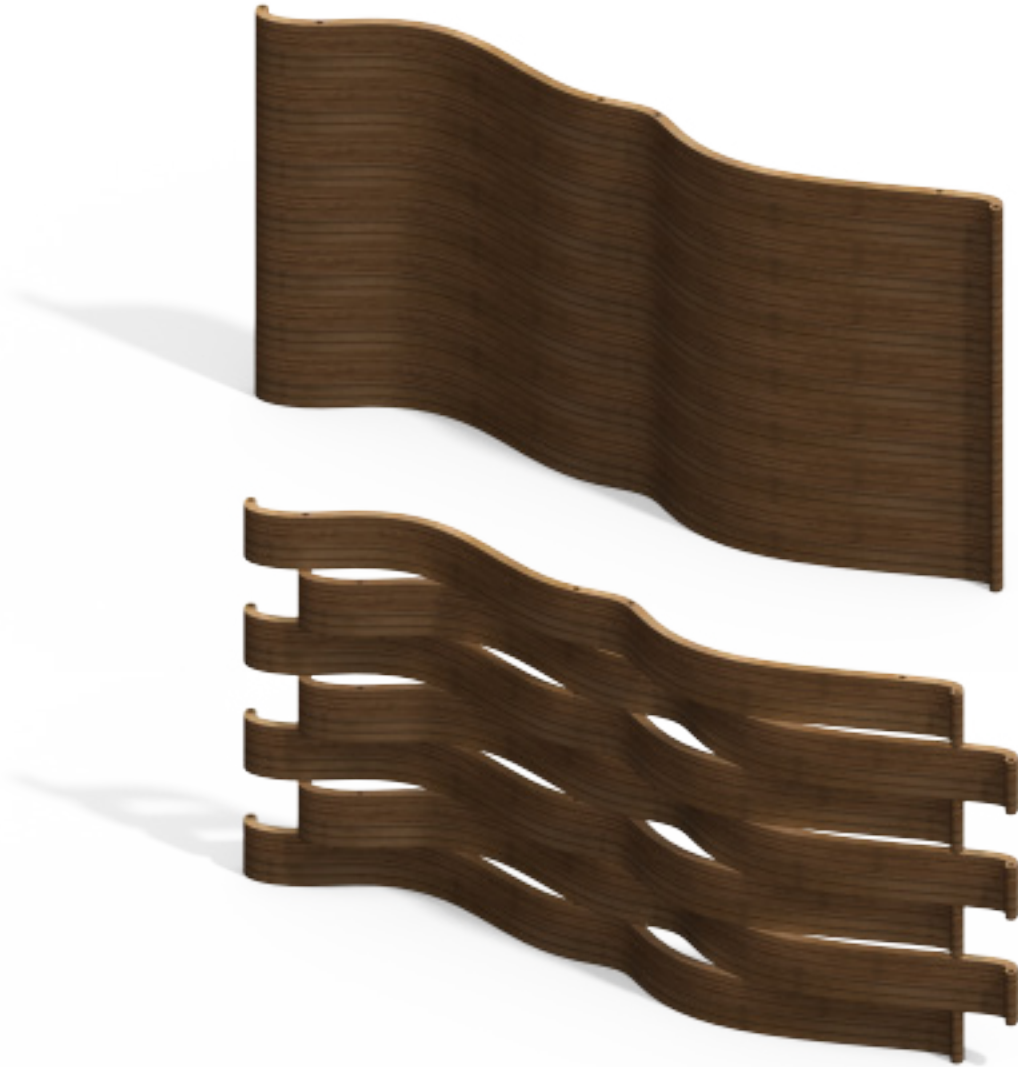
Neljäs iteraatiokierros

Arviointiseminaarin palautteen perusteella oli tarkoitus tehdä vielä enemmän visualisointeja viimeisimmästä Aalto-mallista, mutta päädyin samalla parantelemaan mallia muiltakin osin (kuvat 28-32). Muuttamalla kiinnitysreiät symmetrisiksi lisäsin jonkin verran muunneltavuutta ja loiventamalla muotoa (kuva 27) valmistettavuus ja käytettävyys helpottuvat.

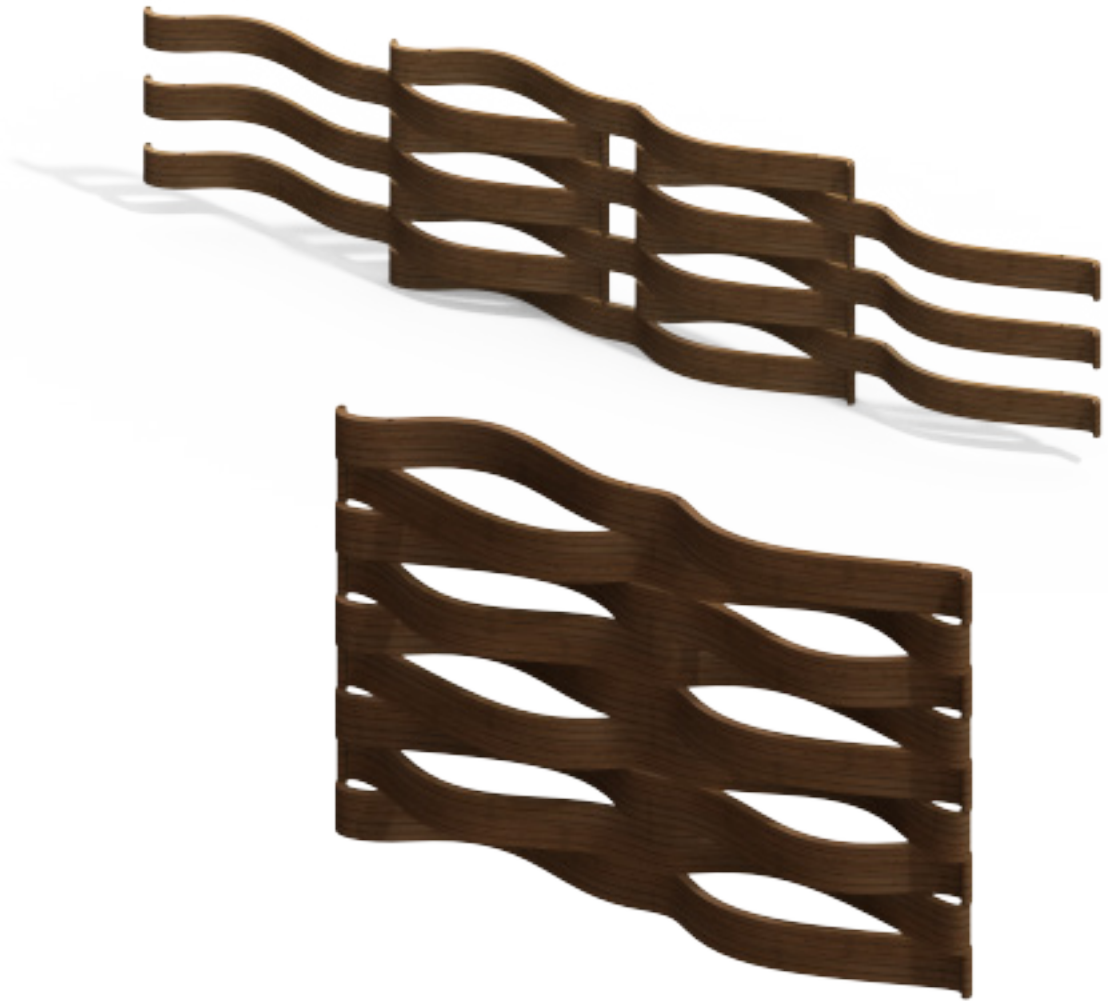
Komponentit voidaan kiinnittää toisiinsa joko kiinteästi tai siten, että liitos toimii saranana, jolloin elementeistä voidaan luoda muunneltavia rakenteita ja käyttää niitä pysyvän asennuksen lisäksi myös tilapäisten rakenteiden, kuten messuosastojen, tekemiseen.



Kuva 27. Päivitetyyn Aalto-mallin mitat ja muoto.



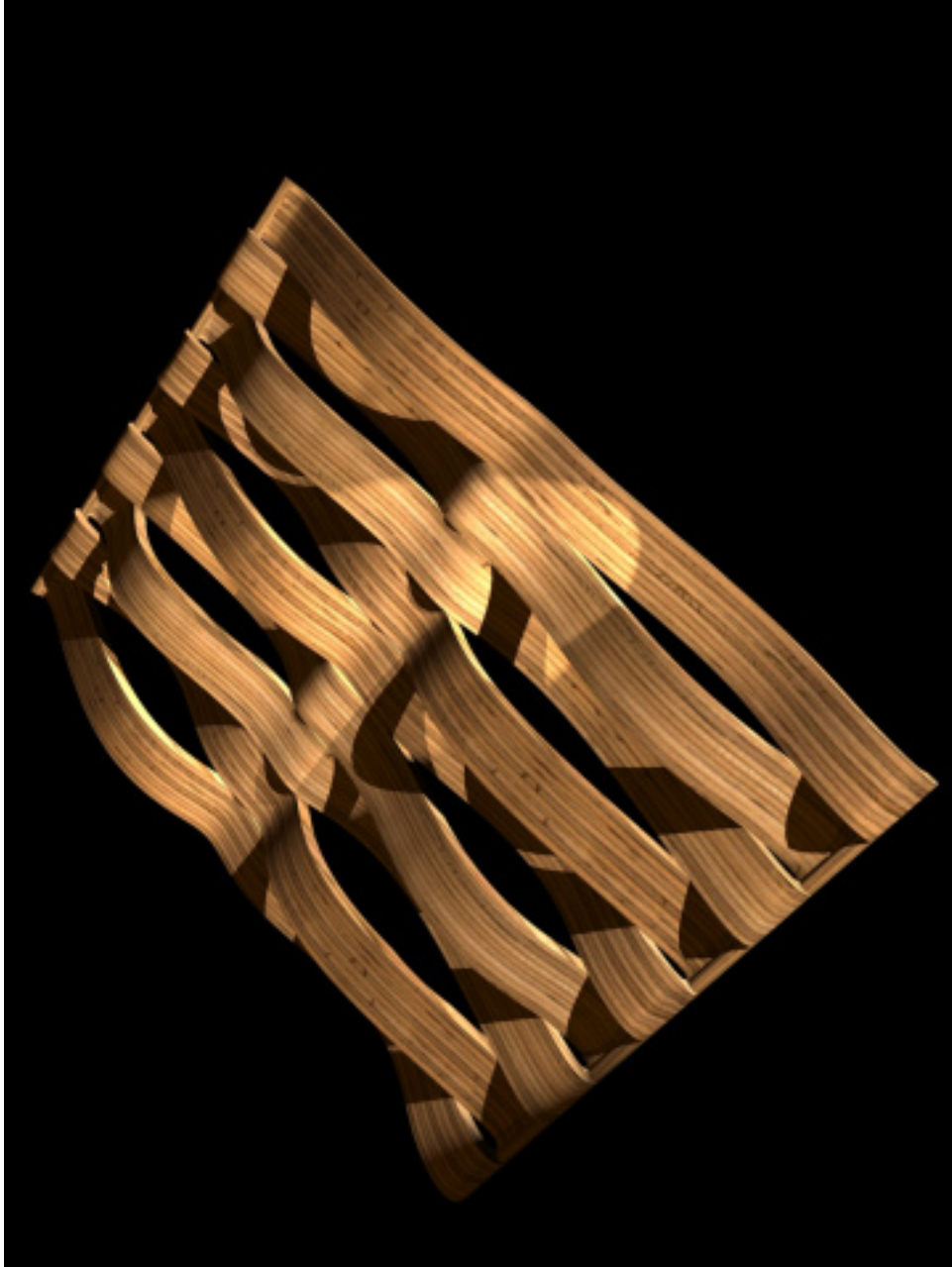
Kuva 28. Suora ja rikkonainen elementti.



Kuva 29. Yksittäinen ja jatkuva elementti.



Kuva 30. Elementtien yhdistäminen toisiinsa.



Kuva 31. Valokokeilu Aalto-mallin kanssa.



Kuva 32. Valo ja varjo toisiinsa kiinnitetyissä Aalto-elementeissä.

5. YHTEENVETO

Työn pääasiallinen tarkoitus oli tutkia Punkaliven mahdollisuuksia akustointielementtien valmistajana. Lopputulosten toimivuutta on hankala arvioida ilman testaamista, mihin työn resurssit eivät kuitenkaan riitä. Pelkän materiaalin ominaisuuksien mittaamisen lisäksi elementeistä pitäisi valmistaa mallikappaleet testattavaksi. Työssä on pyritty yhdistämään materiaalin, valmistustekniikan, käytännöllisyyden, sekä fysiikan vaatimukset tavalla, joka tekee elementeistä samalla osan sisustusta. Näyttävyyttä ja elämyksellisyyttä on arvioitu ryhmittämisen, rytmin, valon ja katselukulman kautta. Yhtenä kriteerinä olenkin pitänyt sitä, voisiko elementtiä harkita käyttävänsä ilman tarvetta akustoinnille.

Käytettävän materiaalin akustisten ominaisuuksien mittaaminen ei valitettavasti ehtinyt mukaan tähän työhön. Vaikka materiaalin ominaisuuksia voidaan jossain määrin arvioida laskennallisesti ja vertaamalla muihin vas-

taavanlaisiin materiaaleihin, olisin mielelläni ottanut mittaustulokset työhön mukaan. Myös vertailukelpoiset mittaukset perforoidun ja perforoimattoman materiaalin välillä olisi ollut mielenkiintoista nähdä, sillä en löytänyt sellaista tietoa muualta.

Puuttumaan jäi myös palaute Punkaliveltä, koska sitä ei ehditty saamaan ennen työn palauttamista. Tämän takia opinnäytetyön lopputuloksena on kolme eri tyyppistä ehdotusta - spiraaliputkistot, rivoitetut elementit, sekä aallot - joiden pohjalta voidaan miettiä jatkoa kun mittaustulokset on saatu.

Työn tarkoituksena oli pitäytyä ainoastaan Kerto-puussa ja Punkaliven valmistustekniikoissa. Elementit eivät kuitenkaan todennäköisesti toimi suurimmassa osassa sovelluksista yksinään, vaan vaativat rinnalleen myös paremmin

absorboivia materiaaleja. Yksi mahdollisuus olisi kuitenkin käyttää Punkaliven valmistamia elementtejä kehyksinä, joihin voidaan kiinnittää erilaisia muita materiaaleja.

Toisena tarkoituksena oli oppia jotakin omasta työnteosta ja jalostaa prosessia innovatiivisemmaksi. Vapaa-ajan, rajoitusten, sekä turhan tiedon merkitys on selkeytynyt ja ymmärrän onnistuneen epäonnistumisen tärkeyden. Ensimmäiset hahmotelmat elementeistä syntyivät ilman rajoja ja jälkeempäin ajateltuna tekisi mieli jättää ne kokonaan esittelemättä. Niistä saadun palautteen ja rajoitusten kautta pystyin kuitenkin ponnistamaan täysin eri suuntaan ja aikaansaamaan käyttökelpoisia ideoita.

Pohdin samaan aikaan itse elementtien kanssa myös kiinnitystapaa, mikä antoi mahdollisuuden ottaa etäisyyttä varsinaisesta tuotteesta, irrottamatta kuitenkaan aiheesta, joten pystyin samaan aikaan syventämään tietojani ja antamaan ideoiden kehittyä alitajunnassa.

Merkityksellistä ja turhaa tietoa voi olla mahdollonta erottaa toisistaan etukäteen, joten jatkuva laaja-alainen kiinnostus asioita kohtaan lienee välttämätöntä. Pyrin kohdistamaan kiinnostukseni sisustukseen ja arkkitehtuuriin, mutta lopulta esiin nousseet ideat tulivat kuitenkin muualta.

Virheistä oppiminen ei ollut itselleni uutta, mutta olin aiemmin ollut hieman epävarma siitä, auttavatko rajat luovuutta. Olen usein kuullut sanottavan, että teoria tappaa luovuuden. En kuitenkaan ole ollut ainoa, joka ei ala-asteella tiennyt mitä piirtää tai kirjoittaa, jos annettiin täysin vapaat kädet. Tunsinkin olevani luovimillani, kun jouduin miettimään miten saan otettua mahdollisimman paljon irti pysymällä silti rajojen sisällä.

Suurimman osan ideoistani sain juuri väärään aikaan, enimmäkseen lukiessani jotakin. Kun asettaa mielensä johonkin tehtävään, alitajunta työstää sitä jatkuvasti. Myös tehdessäni jota-

kin muuta, saatoin yllättäen saada mieleeni ideoita tätä opinnäytetyötä koskien, vaikka en varsinaisesti ajatellut koko asiaa. Koin kuitenkin jatkuvasti tilanteita, joissa jouduin lopettamaan tekemiseni tehdäkseni muistiinpanoja.

Mielestäni paras teko koko työssä on kuitenkin se, että jossain vaiheessa poistin idean seisovista aalloista putkissa. Olin alunperin mielestäni varsin ovela sen keksittyäni, mutta en löytänyt mistään varmistusta sen toimimiselle, joten poistin sen tekstistä. Asia jäi kuitenkin kalvamaan ja seuraavana päivänä lisäsin sen takaisin. En ole varma idean toimimisesta, mutta opetukset riskinotosta, vähättelevän kritiikin uhmaamisesta, itsesensuurista, oman mukavuusalueen hylkäämisestä ja hulluista ideoista tuntuivat yhtäkkiä järkeviltä.

Aiempi ajatukseni prosessin monistettavuudesta ja toistettavuudesta murtui osittain, koska prosessi, joka perustuu suurelta osin sattumanvaraiseen tietoon ja eri käsitteiden

yhdistymiseen laajentaa muuttujien määrää huomattavasti. Vaikka prosessi olisi vieläkin toistettavissa, se sisältää paljon kysymysmerkkejä ja johtaa joka kerta eri lopputulokseen. Siitä kuitenkin on kyse – kokeilemisesta, virheistä, oivaltamisesta ja oppimisesta. Siitä, että ei pelkää epäonnistumista.



Kuva 33. Elementtejä sijoitettuna tilaan.

LÄHTEET

Belojevic G, Jakovljevic B, Slepcevic V. 2003, Noise and mental performance: Personality attributes and noise sensitivity. *Noise Health* 2003 (6), 77-89.

Binggeli, Corky 2003. *Building systems for interior designers*. New Jersey: John Wiley & Sons.

Cox, Trevor & D'Antonio, Peter 2009. *Acoustic absorbers and diffusers – theory, design and application*. New York: Taylor & Francis.

Everest, F. Alton 2001. *Master handbook of acoustics*. New York: The McGraw-Hill Companies.

Heikinheimo, Seppo 1969. *Stereo-opas*. Helsinki: Tammi.

Johansson, Frans 2005. *Medici-ilmiö*. Suom. Tillman, M. Helsinki: Talentum.

Koski, Jussi & Tuominen, Saku 2007. *Kuinka ideat syntyvät*. Porvoo: WS Bookwell.

Kärkkäinen, Matti 2003. *Puutieteen perusteet*. Hämeenlinna: Karisto.

Mcgrory, Peter & Ekman, Kalevi 2006. *Muotoilulliset ja teknologiset tuotealustat*. TaiK & TKK.

Newell, Philip 2003. *Recording studio design*. Oxford: Elsevier.

Norman, Donald 1989. *Miten avata mahdottomia ovia?*. Suom. James, A. Helsinki: Weilin+Göös.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007. RIL 243-1-2007, *Rakennusten akustinen suunnittelu – akustiikan perusteet*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Taina, Pekka 2006. *Pientalon huoneakustiikan parantaminen*. Diplomityö. Espoo: Teknillinen Korkeakoulu, Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto.

Toole, Floyd 2008. Sound reproduction – loudspeakers and rooms. Oxford: Focal press.

Finnforest

Yritys lyhyesti. Verkkodokumentti. Luettu 25.01.2011. <http://www.finnforest.fi/yritys/Pages/yrityslhyesti.aspx>

Strategia Verkkodokumentti. Luettu 25.01.2011. <http://www.finnforest.fi/yritys/Pages/Strategia.aspx>

Punkalive

Lähempänä luontoa. Verkkodokumentti. Luettu 25.01.2011. <http://www.punkalive.fi/yritys/>

Tuotteet. Verkkodokumentti. Luettu 29.01.2011. <http://www.punkalive.fi/tuotteet>

KUVALUETTELO

Kuva 1. Kahden päällekkäisen iteraatiokierroksen prosessi. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 2. Kaksi sisäkkäistä iteraatiokierrosta. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 3. Koura-tuoli ja rahi. Punkalive 2009.

Kuva 4. Punkaliven pintakäsittelyvaihtoehdot. Punkalive 2011.

Kuva 5. Heijastuminen kovasta pinnasta. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 6. Heijastuminen absorboivasta pinnasta. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 7. Heijastuminen diffuusoivasta pinnasta. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 8. Helmholtz-resonaattoreita. Everest 2001.

Kuva 9. Äänen muuttuminen diffuusiksi. RIL 2007.

Kuva 10. Äänen heijastuminen konveksista pinnasta. Newell 2003.

Kuva 11. Äänen heijastuminen Schroeder-diffuusorista. Newell 2003.

Kuva 12. Kiinnikkeiden osat ja toiminta. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 13. Levyresonaattoreiden mitattuja vaimennusarvoja. RIL 2007.

Kuva 14. Referenssilevy 1. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 15. Referenssilevy 2. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 16. Rinne. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 17. Lehti. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 18. Huhta ja yksittäinen levy. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 19. Törmä. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 20. Solukkorakennekokeilu. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 21. Pyöreämuotoinen spiraaliputkisto. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 22. Kuusikulmainen spiraaliputkisto. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 23. Helmholtz-resonaattori. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 24. Rivoitetut elementit. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 25. Esimerkkejä aaltojen kiinnittämisestä toisiinsa. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 26. Yksittäinen aalto, sekä kiinnitysreikien paikat. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 27. Päivitetyin Aalto-mallin mitat ja muoto. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 28. Suora ja rikkonainen elementti. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 29. Yksittäinen ja jatkuva elementti. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 30. Elementtien yhdistäminen toisiinsa. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 31. Valokokeilu Aalto-mallin kanssa. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 32. Valo ja varjo toisiinsa kiinnitetyissä Aalto-elementeissä. Samuli Ruohomaa 2011.

Kuva 33. Elementtejä sijoitettuna tilaan. Samuli Ruohomaa 2011.

LIITTEET



Absorptiosuhteen määrittäminen impedanssiputkella

Materiaalin normaalin tulokulman akustinen absorptiosuhde määritetään impedanssiputkella standardin ISO 10534-2:1998(E) "Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Part 2: Transfer-function method" mukaan. Menetelmä soveltuu homogeenisten tuotteiden kuten villojen tai tiheästi rei'itettyjen levyjen absorptio testaukseen.

Mittausputki ja tätä vastaava näytekoosta valitaan tarkasteltavan taajuusalueen mukaan. Taulukossa 1 on esitetty mittausputkien halkaisijat sekä putkilla mitattavat taajuusalueet.

Taulukko 1. Putkien ominaisuudet.

Putki	Taajuusalue [Hz]	Halkaisija [mm]	Näytteen ja ilmvälän maksimiyhteispaksuus [mm]
iso	50 - 1600	100,00	600
pieni	500 - 6400	29,00	600
keskikokoinen	100 - 3150	63,50	200

Näytteiden tulee olla poikkileikkaukseltaan pyöreitä (kuva 1). Ne tulee valmistaa tarkasti esimerkiksi vesileikkausta käyttäen. Näytteen tulee mahtua mittausputkeen pullistumatta ja toisaalta siten, ettei näytteen ja putken reunan väliin jää rakoja. Näytteen halkaisijan tulisi olla 0,20 mm putken halkaisijaa pienempi, jotta näyte sopii hyvin putkeen. Näytteen reunat tiivistetään vaseliinilla. Kutakin mitattavaa materiaalia/tuotetta kohden tulee testata vähintään kaksi näytettä.

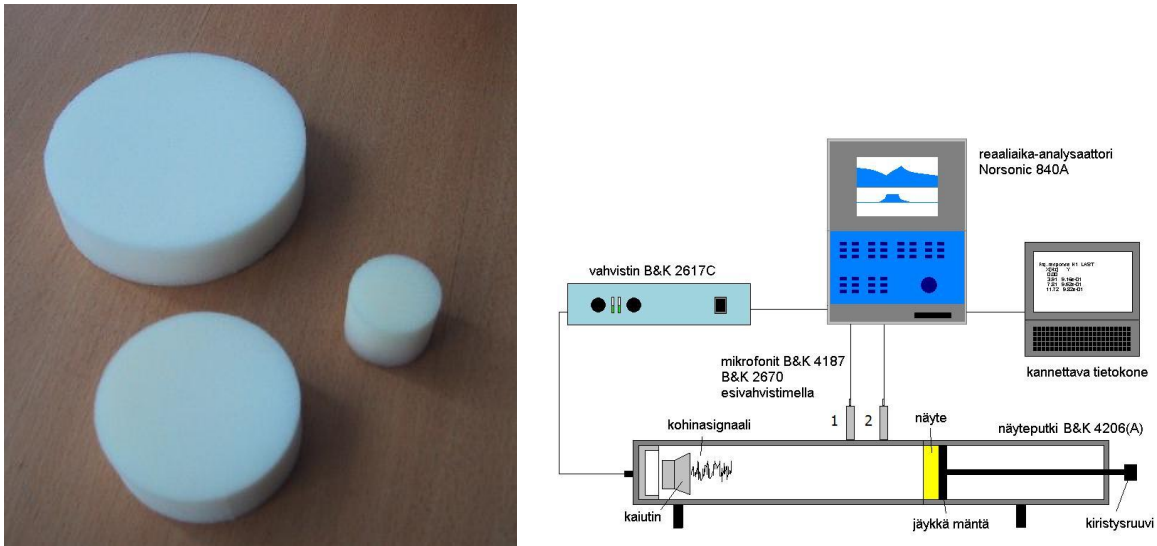
Näytteet pyritään asentamaan putkeen sillä ilmvälillä, jota materiaalin normaaliasennuksessa käytetään, ellei toisin sovita. Suurimmat mitattavat näytteen ja ilmvälän yhteispaksuudet kullekin mittausputkelle on ilmoitettu taulukossa 1.

Mittaustulokset raportoidaan englanniksi, mikäli ei muuta sovita. Raportissa esitetään tiedot näytteistä, mittauslaitteistosta, mittausmenetelmästä, mittausolosuhteista sekä mittauksista kullekin materiaalille. Kuvassa 2 on esitetty esimerkki mittauksesta.

Näytteet toimitetaan osoitteeseen: Työterveyslaitos, sisäympäristölaboratorio, Lemminkäisenkatu 14 – 18 B, 20520 Turku

Yhteystiedot: Valtteri Hongisto, p. 030 474 7586
Petra Virjonen, p. 030 474 7589

Vesi- ja laserleikkausta Turussa tekee mm. HT-Laser Oy Kaarina, 010 7745 220 (<http://www.htlaser.fi>).



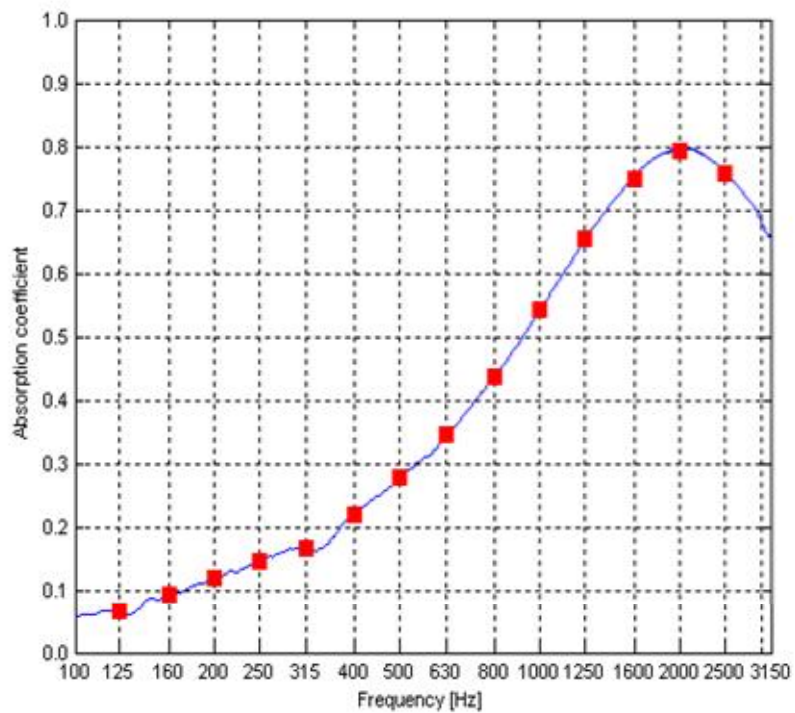
Kuva 2. Esimerkinäytteet ja mittalaitteisto.

Results in 1/3 octave bands

f (Hz)	α_s (sab)	α_s (sab)	Average
125	0.07	0.06	0.07
160	0.09	0.09	0.09
200	0.12	0.12	0.12
250	0.15	0.14	0.15
315	0.17	0.16	0.17
400	0.22	0.22	0.22
500	0.28	0.28	0.28
630	0.35	0.34	0.34
800	0.44	0.43	0.44
1000	0.55	0.54	0.54
1250	0.66	0.65	0.65
1600	0.75	0.74	0.75
2000	0.80	0.79	0.79
2500	0.76	0.75	0.76

Results in 1/1 octave bands

f (Hz)	α_s (sab)	α_s (sab)	Average
250	0.14	0.14	0.14
500	0.28	0.28	0.28
1000	0.55	0.54	0.54
2000	0.77	0.76	0.77



Test performer

Petra Virjonen
Research scientist

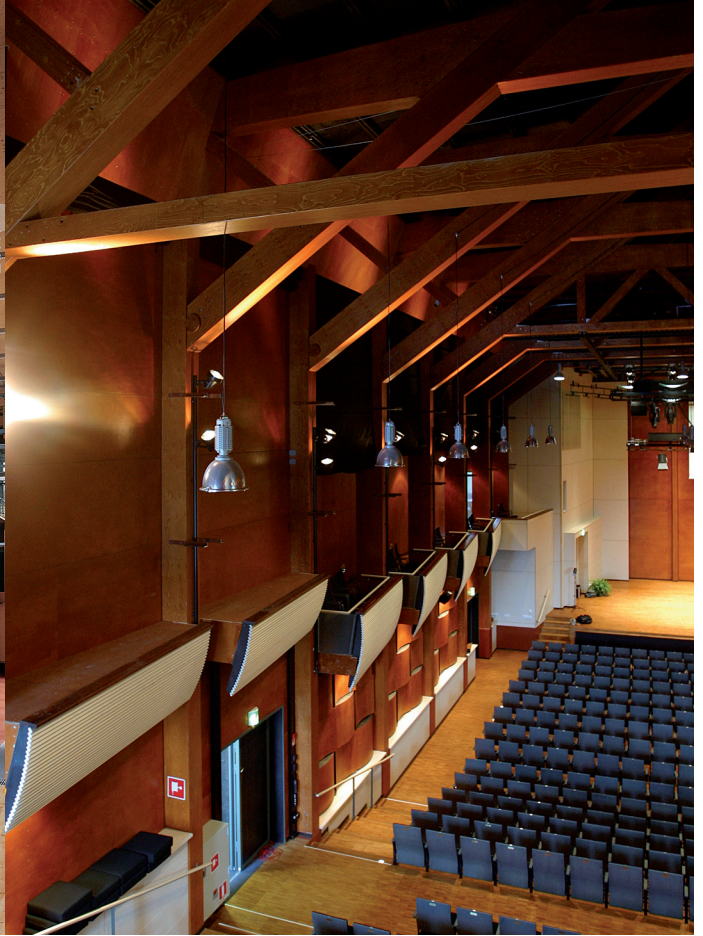
Kuva 2. Esimerkki mittaustuloksesta keskikokoisella putkella.



Kerto[®]

kantaviin rakenteisiin

finnforest



Kannattava tapa rakentaa

Finnforest Kerto® on havupuuviluista liimaamalla valmistettu palkki- ja levytuote. Kerto on jäykkyytensä ja mittatarkkuutensa ansiosta ihanteellinen ratkaisu erittäin suurta lujuutta vaativiin kantaviin rakenteisiin sekä kohteisiin, joissa ei haluta tinkiä kestävydestä eikä keveydestä.

Kerto-tuotteita käytetään kaikkeen rakentamiseen: uudisrakennuksista korjauskohteisiin ja teollisuuskäyttöihin. Esimerkkejä käyttökohteista ovat palkit, pilarit, ristikot, kehät sekä ikkuna- ja oviteollisuuden komponentit.

Uusia sovelluksia ja ratkaisuja kehitetään jatkuvasti yhteistyössä asiakkaiden ja puurakentamisen ammattilaisten kanssa.

Kevyt ja helposti työstettävä

Kerto on helposti työstettävä ja kevyt materiaali, mikä merkitsee huomattavaa ajan ja kustannusten säästöä rakentamisessa. Kerto-tuotteiden työstämiseen soveltuvat perinteisessä puurakentamisessa käytettävät työkalut.

Ainutlaatuisen kerrosrakenteensa ansiosta materiaali on lujempaa kuin massiivipuu, mikä mahdollistaa myös sirojen rakenteiden toteuttamisen.

Kerto-tuotteet ovat CE-merkittyjä ja niillä on VTT:n sertifikaatti 184/03.

Ilmastoystävällinen rakennusmateriaali

Puu on täysin uusiutuva ja kierrätettävä rakennusmateriaali. Puuraaka-aine on peräisin Metsäliiton suomalaisten metsänomistajajäsenten kestävästi hoidetuista, PEFC-sertifioiduista metsistä, mikä tarkoittaa, että raaka-aineen alkuperä on jäljitettävissä.

Puutuotteisiin on varastoituneena hiiltä, jonka puu on sitonut kasvun aikana. Puutuotteiden valmistuksesta aiheutuu vain vähäisiä kasvihuonekaasupäästöjä. Tästä syystä puusta rakentaminen auttaa hillitsemään ilmastonmuutosta.

Puutuotteiden tuotanto on energiaomavaraista ja pääenergialähteenä on tuotannon sivutuotteista saatava bioenergia. Puuraaka-aine hyväksikäytetään tehokkaasti.

Puutuotteiden valmistuksessa ja käytössä syntyvän jätteen määrä on vähäinen, ja tuotteiden kuljetusten ympäristövaikutukset ovat pienet niiden keveyden ansiosta.

Kerto-S pitkille jänneväleille

Mittatarkka Kerto-S -palkki kantaa ja luo ryhtiä erimuotoisille katoille. Kerto-S -palkissa yhdistyvät puun yliveritaiset ominaisuudet kuten lujuus, keveys ja helppo työstettävyys. Kerto-palkin suuri jäykkyys estää haitallisen värähtelyn ala- ja välipohjissa pitkilläkin jänneväleillä. Kerto-S on arkkitehtonisesti edustava avoimissa ja näkyviin jäävissä kattorakenteissa.

Pientaloissa Kerto-S -palkkia käyttämällä voidaan toteuttaa helposti korkeita huonetiloja, suuria ikkunapintoja, näyttäviä erkereitä, parvia ja parvekkeita. Materiaalin monikäyttöisyys mahdollistaa yksilöllisten toiveiden toteuttamisen.

Kerto-S -palkkeja toimitetaan 27...75 mm:n levyisenä 6 mm:n välein. Palkkien vakiokorkeudet ovat 200, 220, 225, 260, 300, 360, 400, 450, 500 ja 600 mm. Maksimipituus on 25 000 mm.

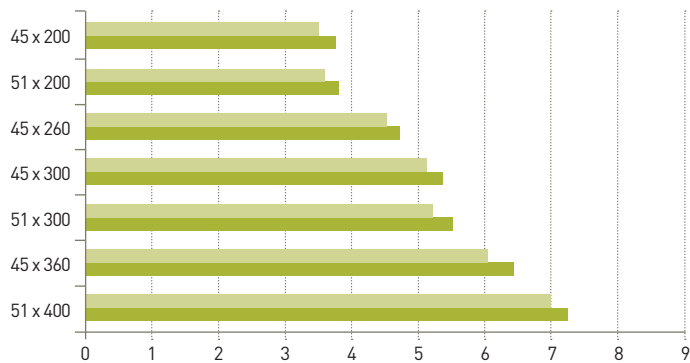
Yleisimmät korkeudet 200, 260, 300, 360, 400 mm ovat saatavana 45 mm:n ja 51 mm:n levyisinä jälleenmyyjien varastoista lyhyellä toimitusajalla.



KERTO-S, POIKKILEIKKAUSMITAT

Paksuus mm	Korkeus mm								
	200	225	260	300	360	400	450	500	600
27	•	•							
33	•	•	•						
39	•	•	•	•					
45	•	•	•	•	•				
51	•	•	•	•	•	•			
57	•	•	•	•	•	•	•		
63	•	•	•	•	•	•	•	•	
75	•	•	•	•	•	•	•	•	•

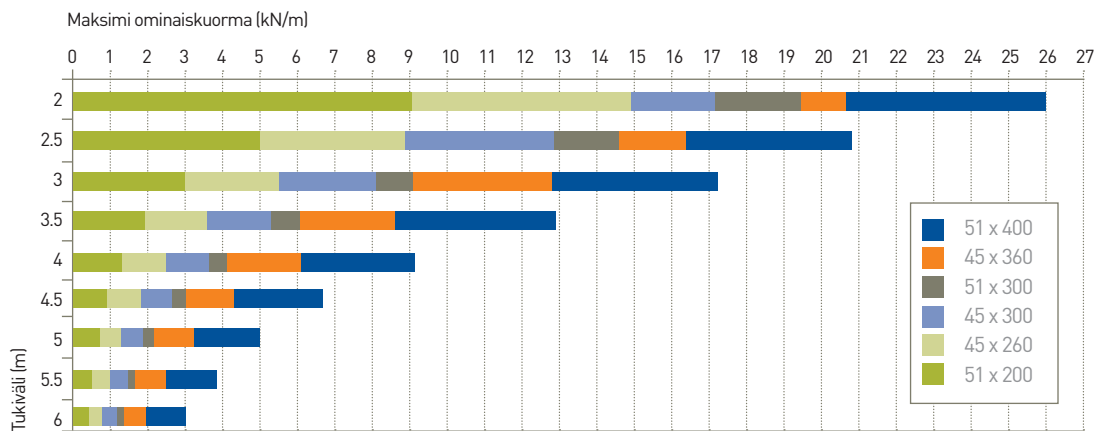
Kerto-S -lattiapalkin maksimijännevälit (m)



Eurokoodin ja sen kansallisen sovellusohjeen RIL 205-1-2007:n mukainen mitoitus. Rakenteen omapaino 0,6 kN/m², hyötykuorma 2,0 kN/m², palkiston jakoväli $k \leq 400$ mm. Yksi jäykistelinja palkiston keskellä ja neliön muotoinen huonetila, jossa lattian neljä reunaa tuettu. Lopputaipuma $w_{fin} \leq L/300$, alkutaipuma $w_{inst} \leq L/400$. Tuen leveys ≥ 120 mm. Käyttöluokka 1-2.

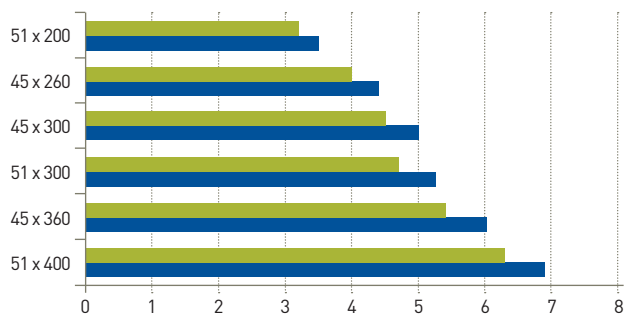
■ Värähtelymitoituksessa yläpuolinen lastulevy 22 mm ilman liittovaikutusta
 ■ Värähtelymitoituksessa yläpuolinen lastulevy 22 mm työmaaliimattuna

Kerto-S -pääpalkin mitoitusstaulukko lattiarakenteelle



Mitoitus on tehty EC5 mukaan. Omapainon osuus 20%. Käyttöluokka 1-2. Tuen leveys ≥ 120 mm. Lopputaipuma $w_{fin} \leq L/300$, alkutaipuma $w_{inst} \leq L/400$.

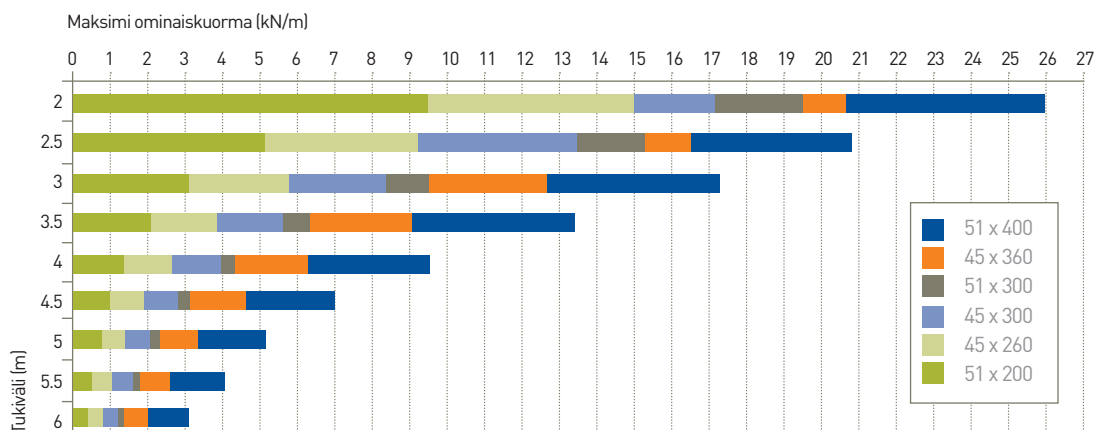
Kerto-S -yläpohjapalkin maksimijänneväli (m)



■ Palkkien jakoväli $k \leq 900$ mm
 ■ Palkkien jakoväli $k \leq 1200$ mm

Mitoitus on tehty EC5 mukaan. Tuen leveys ≥ 120 mm. Kattokaltevuus 1:3. Omapaino 0,9 kN/m². Lumikuorma maassa $S_k = 2,5$ kN/m². Yläpuolinen kiepahdustukiväli ≤ 400 . Lopputaipuma $w_{fin} \leq L/200$.

Kerto-S -pääpalkin mitoitusstaulukko kattorakenteelle



Mitoitus on tehty EC5 mukaan. Omapainon osuus 20%. Käyttöluokka 1-2. Tuen leveys ≥ 120 mm. Tuulikuormia ei ole huomioitu laskennassa. Lopputaipuma $w_{fin} \leq L/300$.

Kerto-Q jäykistää levynä

Kerto-Q on kantava, jäykistävä ja mittatarkka levyrakenne, jolla ratkaistaan vaikeatkin tasorakenteet. Kerto-Q -levyrakenne mahdollistaa yhdessä Kerto-S -palkkien kanssa tiukat ääneneristysvaatimukset täyttävän välipohjarakenteen toteuttamisen.

Rakenteeseen voidaan sijoittaa talotekniikka ja sen läpiviennit.

Kerto-Q -levyn ristirakenteessa noin viides viiluista on poikittain. Tuotteen paksuus määräytyy päällekkäisten, 3 mm paksujen viilujen lukumäärästä. Kerto-Q -tuotetta käytetään sekä levynä että palkkina. Ristiviilut lisäävät poikittaista lujuutta ja jäykkyyttä. Levyrakenteena Kerto-Q toimii sekä näkyvänä pinnana että jäykistävänä katto-, lattia- ja seinälevynä.

Palkkirakenteena se sopii kohteisiin, joissa tarvitaan hyvää poikittaista vetolujuutta.

Kerto-Q toimitetaan samoilla leveyksillä kuin Kerto-S, ja lisäksi 900, 1200, 1800 ja 2500 mm levyisenä. Paksuus vaihtelee 6 mm välein 27..69 mm.



KERTO-Q, VIILURAKENNE			
Paksuus mm	Z	X	Viilurakenne
	kpl	kpl	
27	7	2	II-III-II
33	9	2	II-III-III-II
39	10	3	II-III-III-II
45	12	3	II-III-III-II
51	14	3	II-III-III-II
57	15	4	II-III-III-III-II
63	16	5	II-III-III-III-II
69	18	5	II-III-III-III-II

Z = levyn suuntaisten viilujen lukumäärä I
X = levyn poikittaisten viilujen lukumäärä -

Kerto-T tukee tolppana

Kerto-T on suora, kieroutumaton ja mittatarkka tuote, joka soveltuu sekä ulko- ja väli-seinien kantaviin rakenteisiin runkotolppaksi että keveiden seinien seinärangaksi. Kerto-T mahdollistaa korkeiden, suorien seinien rakentamisen.

Kerto-T -rakenteessa kaikkien viilukerros-ten syysuunta on pitkittäinen. Kerto-T -tolppaa käytetään yleensä pystysauvana. Rakenteensa ansiosta Kerto-T on sopiva asennuspohja kaikille levy materiaaleille. Levyt on helppo kiinnittää ilman erikoistyökaluja. Kerto-T -tolpan mittatarkkuus, rakenteen suuri jäykkyys ja hyvät työstöominaisuudet nopeuttavat rakentamista.

Kerto-T -runko- ja väliseinätolpat toimitetaan määrämittäisinä. Jälleenmyyjien varastokoot ovat 39 x 66 ja 39 x 92 mm. Muita kokoja toimitetaan tilauksesta.



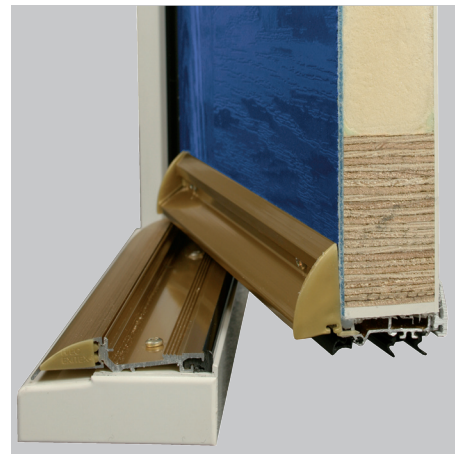
KERTO-T, POIKKILEIKKAUSMITAT

Paksuus	Leveys	Pituus
yleensä 39–63 mm	yleensä < 200 mm	yleensä < 12 m

Kerto teollisuuskäytöissä

Luja, suora ja mittatarkka Kerto on monien teollisuuskäyttöjen erinomainen materiaali

- Ylä- ja välipohjaelementit liike- ja hallirakentamiseen
- Taloteollisuuden komponentit
- NR-ristikoiden alapaarteet
- Betonin valumuottipalkit
- Ovien ja ikkunoiden kehät
- Korokelattioiden kannakkeet
- Telinelankut
- Portaiden reisilankut
- Kuljetusvälineteollisuuden komponentit



Kerto-tuotteiden suunnitteluarvot [N/mm²] ja fysikaaliset ominaisuudet

OMINAISUUS	Symboli	Kerto-S ¹⁾ 21-90 mm	Kerto-Q ¹⁾ 27-69 mm	Kerto-T ²⁾
Taivutuslujuus				
Syrjällään	$f_{m,0,edge,k}$	44.0	32.0	$(300/h)^s \cdot 27.0$
KokovaikutusekspONENTTI	s	0.12	0.12	0.15
Lappeellaan, syiden suuntaan	$f_{m,0,flat,k}$	50.0	36.0	32.0
Lappeellaan, kohtisuoraan syitä vastaan	$f_{m,90,flat,k}$	-	8.0	-
Vetolujuus				
Syiden suuntaan	$f_{t,0,k}$	35.0	26.0	$(3000/L)^{s/2} \cdot 24.0$
Kohtisuoraan syitä vastaan, syrjällään	$f_{t,90,edge,k}$	0.8	6.0	-
Puristuslujuus				
Syiden suuntaan	$f_{c,0,k}$	35.0	26.0	26.0
Kohtisuoraan syitä vastaan, syrjällään	$f_{c,90,edge,k}$	6.0	9.0	4.0
Kohtisuoraan syitä vastaan, lappeellaan	$f_{c,90,flat,k}$	1.8	2.2	1.0
Leikkauslujuus				
Syrjällään	$f_{v,0,edge,k}$	4.1	4.5	2.4
Syiden suuntaan, lappeellaan	$f_{v,0,flat,k}$	2.3	1.3	1.3
Kohtisuoraan syitä vastaan, lappeellaan	$f_{v,90,flat,k}$	-	0.6	-
Kimmokerroin				
Syiden suuntaan	$E_{0,mean}$	13 800	10 500	10 000
Puristus, kohtisuoraan syitä vastaan syrjällään	$E_{c,90,edge,mean}$	430	2 400	-
Puristus, kohtisuoraan syitä vastaan, lappeellaan	$E_{c,90,flat,mean}$	130	130	-
Taivutus, kohtisuoraan pintaviilun syitä vastaan	$E_{m,90,mean}$	-	2000	-
Liukkerroin				
Syrjällään	$G_{0,edge,mean}$	600	600	400
Lappeellaan, syiden suuntaan	$G_{0,flat,mean}$	600	120	400
Tiheys, kg/m³				
	ρ_k	480	480	410
Kosteuspitoisuus (toimitettaessa tehtaalta)				
		10 %	10 %	10 %
Mittamuutoskerroin³⁾				
Paksuus		0,0024	0,0024	0,0024
Leveys/korkeus		0,0032	0,0003	0,0032
Pituus		0,0001	0,0001	0,0001
Keskimääräinen tiheys (kg/m ³)		510	510	440
Palonkesto, hiiltymisnopeus (mm/min.)		0,70	0,70	
Paloluokitus		D-s1, d0	D-s1, d0	D-s1, d0

¹⁾ VTT sertifikaatti 184/03

²⁾ VTT sertifikaatti VTT-C-1781-21-07

³⁾ Poikkileikkauksen kosteuspitoisuudesta johtuva mittamuutos (kosteuspitoisuuden muutos% x mittamuutoskerroin x mitta mm)

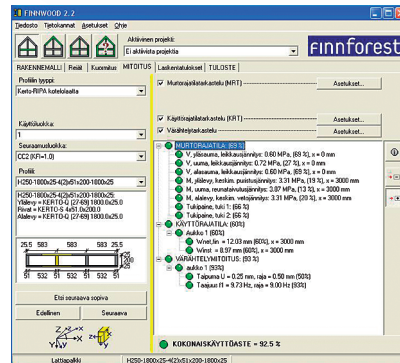
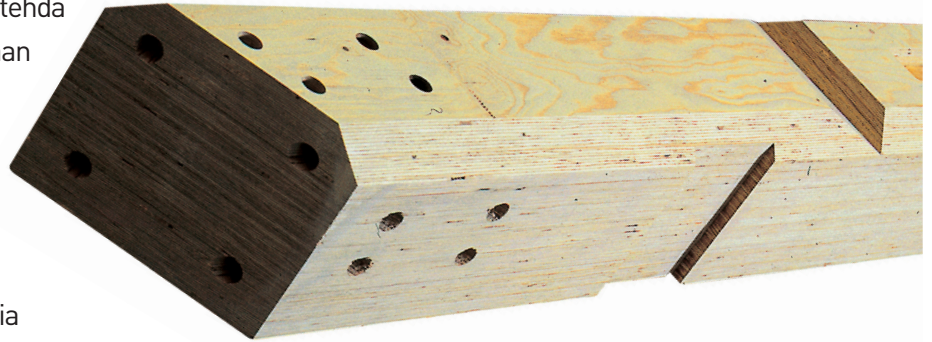
Kerto-tuotteiden toleranssit (kosteuspitoisuus 10 %)

Paksuus	+1/-2 mm
Korkeus < 200 mm 200...600 mm > 600 mm	+/- 1 mm +/- 2 mm +/- 0,5 %
Pituus	+/- 5 mm

Työstöt

Kerto-tuotteille voidaan jo tuotannossa tehdä erilaisia työstöjä loppukäytön ja asiakkaan toiveiden mukaan.

- Optinen tai kalibroiva hionta
- Palkin pitkän syrjän profilointi, esim. puolipontti tai ura
- Muotoon sahauksia; suoria sahauksia erikoisleveyksiin tai diagonaalisahauksia
- Kerrannaisliimauksia, jolloin tuotteen lopullinen paksuus voi olla jopa 300 mm
- CNC-työstöjä: poraukset, jyrännät ja sahaukset
- Kokoamisia rakenneosiksi: esim. ripa- ja kotelolaatat ja A-kattokannattimet
- Suojäkäsittelyjä: esim. homesuojaus



Painekyllästys

Painekyllästetyssä Kerto-Q -tuotteissa ovat sekä kosteudensietokyky että kantokyky parhaimmillaan. Kerto-Q soveltuu erinomaisesti laitureihin, siltoihin, piharakenteisiin ja muihin kohteisiin, joissa materiaalilta vaaditaan kosteudenkestävyyttä.

AB-luokkaa vastaavasti kyllästetty Kerto-Q on arseeni- ja kromivapaa. Jäykkä rakenne ei kaippaa tiheitä välitolppia eikä pilareita. Painekyllästetyille Kerto-Q -tuotteille käytetään normaalin Kerto-Q -tuotteen mitoitusarvoja kyseisen käyttöluokan mukaan. Kyllästetyn puutavaran liittämiseen on käytettävä ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kiinnikkeitä.

Finnwood-mitoitusohjelma

Kerto-tuotteet kuten muutkin Finnforest-tuotteet voidaan mitoittaa helppokäyttöisellä Finnwood-mitoitusohjelmalla. Finnwood on ensimmäisiä laskentaohjelmia, joka mitoittaa puurakenteita suunnittelustandardin EN-1995-1-1 ja 1.11.2007 voimaan tulleen Suomen kansallisen liitteen sekä suunnitteluohjeen RIL 205-1-2007 mukaisesti.

Helppokäyttöinen ja havainnollinen käyttöliittymä nopeuttaa Eurokoodin omaksumista. Ohjelma on saatavana ilmaiseksi finnforest.fi -verkkopalvelusta.

Ideoita inspiraatioon



Serpentine Gallery -taidemuseo Lontoossa



Kuopion pesäpallostadion



Korttelitalo Leskenlehti Helsingissä



Martin Nadaud -urheiluhalli Ranskassa

Monikäyttöinen Kerto on rakentajalle ihanteellinen materiaali, jonka käyttöä rajoittaa vain mielikuvitus. Innovatiivisia käyttöesimerkkejä on Kerton kolmen vuosikymmenen aikana kertynyt runsaasti eri puolilta maailmaa.

Kertolle myönnettiin puutuotealan johtava eurooppalainen innovaatiopalkinto Schweighofer Prize vuonna 2007.

Ideoita inspiraation lähteeksi löytyy referenssisivustostamme www.finnforest.com.



Karlsruhen yliopiston
ravintola
Karlsruhe, Saksa



Vuoristorata Six Flags
-huvipuistossa
Jacksonville, USA



Danone-tehtaan
neuvottelutilat
Velizy, Ranska



Parasol-aurinkokatos
Sevilla, Espanja

→ www.finnforest.fi

TEKNINEN NEUVONTA
Metsäliiton Puutuoteteollisuus
Myynti ja jakelu, Suomi
Askonkatu 4
15100 LAHTI
Puhelin 01046 50399
Faksi 01046 50333

www.finnforest.fi
palaute@finnforest.com

Metsäliiton Puutuoteteollisuus (kansainvälisesti Finnforest) toimittaa asiakkaidensa tarpeiden mukaan kehitettyjä kilpailukykyisiä ratkaisuja erityisesti teollisen rakentamisen ja kuljetusvälineiteollisuuden sekä kodin ja asumisen tarpeisiin. Ratkaisumme perustuvat laadukkaaseen ja ekologiseen pohjoismaiseen puuraaka-aineeseen, ja käyttämällä niitä asiakkaamme voivat parantaa ympäristön ja elämisen laatua. Liikevaihtomme on yli miljardi euroa, ja työllistämme noin 4 000 ammattilaista 20 maassa. Kuulumme Metsäliitto-konsernin ydinliiketoimintoihin.

finnforest