

# MUSIIKKI- JA PUHESALIEN AKUSTISEN SUUNNITTELUN VAIHEITA 1900-LUVULLA

Alpo Halme

”Jo antiikin kreikkalaiset”, niinhän kaikki historian hyvät tarinat alkavat. Kreikkalaisten perintöä onkin lähes kahden vuosituhannen ajan ollut se tieto ja taito, josta länsimainen kulttuuri on saliakustisen osaamisensa ammentanut. Olisin kuitenkin valmis väittämään, että kahdeskymmenes vuosisata oli saliakustisessa tutkimuksessa ja tutkimustulosten soveltamisessa käänteentekevä ajanjakso. Kerron artikkelissani saliakustisen suunnittelun ja toteutuksen vaiheista sen usein ohdakkeisella tiellä, jossa olen ollut mukana yli puolet ajanjaksosta.

Kun halutaan tarkastella viime vuosisadalla suoritettujen tutkimusten ja havaintojen sekä niiden perusteella syntyneen tiedon soveltamista salien akustiseen suunnitteluun, on hyvä selvittää, millainen tilanne oli vuosisadan alussa. 1800-luvulla ja varsinkin sen loppupuolella oli syntynyt varsinainen teatteri- ja oopperarakennusten rakentamisboomi. On mielenkiintoista, miten samanlaisia kaikki ovat perusmitoiltaan ja ratkaisuiltaan. Tuon kauden rakennuksia ovat muun muassa Wienin Valtionooppera, Buenos Airesin Teatro Colon, Pariisin, Lontoon ja Berliinin oopperatalot. Näiden esikuvina olivat 1700-luvun loppupuolella valmistuneet Teatro San Carlo Napolissa ja Milanon Teatro alla Scala. Suomessa esimerkiksi vanha oopperatalo, nykyinen Aleksanterin teatteri, ja Svenska Teatern edustavat samaa tyyppiä.

1700-luvun lopulla syntyivät myös varsinaiset konserttisalit. Tunnetuin tämän aikakauden konserttisaleista on Leipzigin Altes Gewandhaus (1780). Se oli suhteellisen pieni pitkänomainen suorakulmion muotoinen sali, kuulijamäärä suurimmillaan noin 600 henkilöä. Orkesteri oli salin

toisessa päässä. Yleisön istuinrivit olivat vastakkain pitkien sivuseiniin suuntaisina, sivuilla ja takana kapeat parvekkeet. Tämän salin, joka palveli musiikkiesityksissä sadan vuoden ajan ja korvattiin sitten Neues Gewandhaus -salilla, perusratkaisut olivat mallina 1800-luvun jälkipuoliskon suurten konserttisalien suunnittelijoille. Edellä mainitun Leipzigin Neues Gewandhaus -salin lisäksi rakennettiin muun muassa kuuluisat Wienin Musikvereinsaal, Amsterdamin, Baselin ja Glasgown salit.

1900-luvun alkuun mennessä oli rakennettu lukuisia akustisilta ominaisuuksiltaan erinomaisia teatteri-, ooppera- ja konserttisaleja. Äänen ominaisuuksia ja käyttäytymistä tunnettiin jo varsin monipuolisesti. Valon tavoin tapahtuva heijastus, seisovat aallot huoneessa, taajuus ja aallonpituus eli niin sanottu geometrinen huoneakustiikka oli hyvin hallinnassa. Äänen vaimentaminen resonaattorein ja huokoisin pintaverhouksin tunnettiin.

Kaikesta huolimatta suunnittelun ja toteutuksen keskeisin periaate oli, että tehdään hyväksi havaittujen esimerkkien mukaan ja

vältetään niitä ratkaisuja, joista kokemukset olivat huonot.

Suunnittelun menetelmistä kertoo Pariisin oopperan suunnittelija arkkitehti Charles Garnier: ”Ei ole minun vikani, etten minä ja akustiikka koskaan saavuttaneet yhteisymmärrystä. Itselleni suurta tuskaa tuottaen yritin tämän huiman tieteen hallitsijaksi, mutta viidentoista vuoden työn jälkeen huomasin tuskin edenneeni siitä, missä olin ensimmäisenä päivänä. Olin lukenut huolellisesti minulla olevat kirjat, neuvotellut ahkerasti filosofien kanssa – mistään en löytänyt itselleni positiivista toimivaa ohjetta, päinvastoin vain vastakkaisia väitteitä. Kun olin kuukausikaupalla tutkinut ja kysellyt kaikkea, tein viimein tämän keksinnön. Hyvä akustinen tila on joko pitkä tai leveä, korkea tai matala, puuta tai kiveä, pyöreä tai nelikulmainen ja niin edelleen.” Garnier jatkaa: ”Onnistuminen näyttää yhtä ilmeiseltä kuin teatterimaailmassa silloin, kun unelmiensa maassa lapsi käy sisälle ’Ihmemaahan.’”

## 20. VUOSISADAN ENSIMMÄISET VUOSIKYMMENET

Vuosisadan vaihteen ja toisen maailmansodan välinen aika toi monia merkittäviä tapahtumia, joilla oli jopa käänteen tekevä vaikutus salien akustiseen suunnitteluun. Salien kolmen perusulottuvuuden lisäksi neljäs ulottuvuus, aika, astui kuvaan. Radiotoiminta asetti tiloille uusia akustisia vaatimuksia. Elokuva puolestaan toi mukanaan puheen ja musiikin lisäksi paljon laajemmän äänimaiseman. Äänen voimakkuus ja taajuusjakautuma opittiin mittaamaan. Arkkitehtuurin puolella funktionalismi eli ”funkkis” muutti ratkaisevasti rakentamisperinteen.

Wallace C. Sabine työskenteli apulaisprofessorina Harvardin yliopiston fysiikan osastolla. Tutkiessaan luentosalin akustisia ominaisuuksia hän totesi tilan kaikuisuuden vaikutuksen puheen selvytyteen. Ko-

keilemalla ja suorittamalla mittauksia hän kehitti käsitteen jälkikaiunta-aika ja sen laskemiseksi Sabinen kaavana tunnetun yhtälön huoneen tilavuuden, absorptioalan ja jälkikaiunta-ajan välillä. Sabinen tutkimustuloksia käytettiin jo vuonna 1900 valmistuneessa salissa Boston Symphony Hall. Se on ensimmäinen sali, jossa uudempi fysiikan tutkimus on ollut vaikuttamassa tilan suunnitteluun ja kuuluu epäilemättä maailman huippuluokan saleihin. Osittain onnistumiseen vaikuttavana tekijänä on kuitenkin ollut salin yleinen muotoilu vanhojen 1800-luvun salien hengessä.

Sabine kaavaa täydensivät ja tarkistivat myöhemmin mm. Knudsen lisäämällä siihen ilman aiheuttaman absorption sekä Eyring ottamalla huomioon ensimmäisten heijastusten yhteydessä syntyvän äänen vaimentumisen. Knudsen selvitti myös puheen tajuttavuuteen vaikuttavia seikkoja kuten puheäänien voimakkuus, sen suhde häiriömelutasoon, jälkikaiunta-aika ja erikseen havaittava kaikuilmio. Huoneiden pintaverhousrakenteiden absorptiokertoimet pystyttiin tyydyttävästi mittaamaan ja suunniteltu tilan jälkikaiunta-aika voitiin myös toteuttaa. Puhesalien osalta voinkin yhtyä diplomi-insinööri J. I. Packalenin mielipiteeseen, jolla hän päättää Teknillisessä aikakauslehdessä vuonna 1931 ilmestyneen artikkelinsa: ”Katson voivani väittää, että huoneakustiikan alalla nykyisin ollaan jo siksi selvällä pohjalla, että suurin piirtein katsoen hyvä akustiikka varmuudella on järjestettävissä uusiin huoneustoihin ja että myös vanhat epäonnistuneet laitokset voidaan korjata. Suurinta vaikeutta tuottavat vielä äänen laatuun kohdistuvat hienoimmat vivahteukset.”

## FUNKKIS JA KONSERTTISALIT

Arkkitehtuurin valtavirtaukseksi muuntui funktionalismi eli ”funkkis”. Sen lähtökoh-



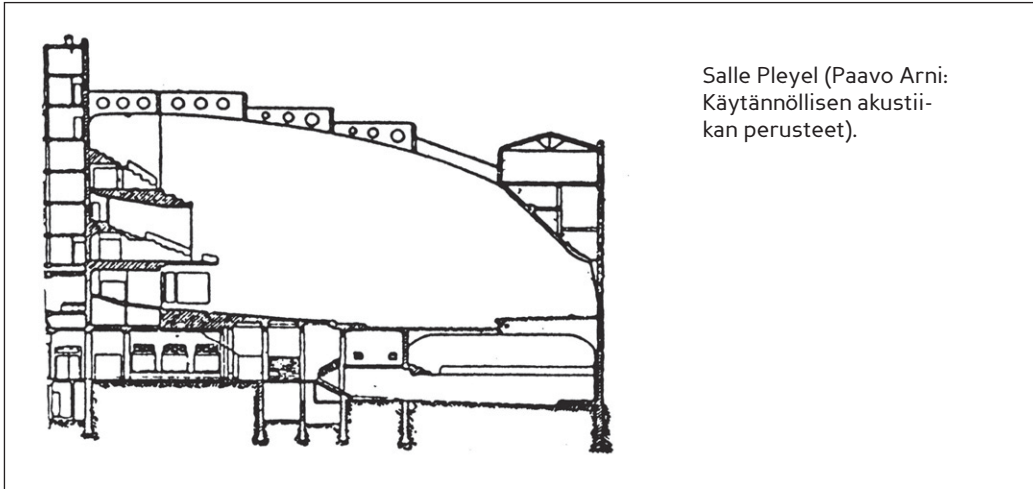
Boston Symphony Hall. (Beranek: Music, Acoustics & Architecture).

tana oli, että arkkitehtuurin, rakentamisen tulee täyttää sille asetettu toiminta, funktio. Mikään, millä ei ollut funktiota, oli hyljättävää, tarkoituksetonta. Toisaalta arkkitehtuurissa kuvastui monella tavalla tekniikan ihannointi. Rakennuksista oli poistettava kaikki turhat koristeet. Niillä ei ollut toimivuuden kannalta mitään tekemistä.

Funktionalismin kaudella saliakustiikan tärkeimmäksi tehtäväksi käsitettiin äänen välittäminen esiintyjiltä kuulijoille sekä suoraan tulevana äänenä että nopeina heijastuksina. Liiallinen kaiunta vaimennettiin siten, että jopa kirkkosalit olivat täysin tukkoisia. Uutta suunnittelun ajatusmallia voisi kuvailla seuraavasti: kun aikaisemmin arkkitehti sai suunniteltavakseen salin, hän lähti ekskursiolle, tutustui tunnettuihin hyvin toimiiviin saleihin ja otti suunnitelmiinsa niiden parhaat ominaisuudet. Uuden ajan suunnit-

telija teki samoin. Palattuaan hän päätti, että tehdään täysin uudenlainen parempi sali, jota kukaan muu ei vielä ollut keksinyt. Valittavasti osoittautui, etteivät musiikkisalien osalta käytettävissä olevat tiedot akustiikasta olleet riittäviä.

Uuden ajan konserttisalien esimerkki on Pariisin Salle Pleyel 1927. Sen pohjapiirros on puolisuunnikas sivusuuntaisen haitallisen tärykaiun välttämiseksi. Pituusleikkauksessa katto on paraabelin muotoinen äänen siirtämiseksi esiintyjiltä kuulijoille. Niin tapahtuukin, eikä esiintyjä kuule kunnolla edes omaa ääntään. Sen sijaan yleisön hälinä suuntautuu voimakkaana esiintyjälle keskittymistä häiriten. Epäonnistumisesta huolimatta ajatusmalli sai yllättävän suuren suosion. Elokvateattereissa se onkin käytökelpoinen, eihän äänilähteenä oleva kaiutin häiriinny katsojien hälinästä. Tyyli-



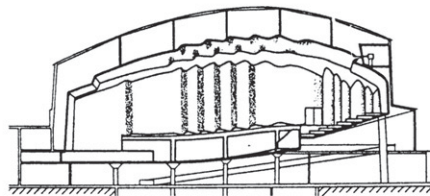
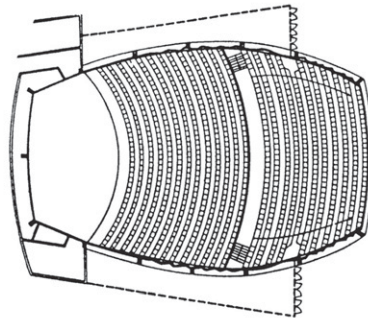
taimpia paraabelisaleja ovat Eero Saarisen suunnittelema Kleinhans Music Hall, jonka pohjapiirroskin on paraabelin muotoinen, Liverpoolin Philharmonic Hall ja kaksi salia Kanadassa, Alberta Jubileum Auditoriums, sijaintipaikkoinaan Edmonton ja Calgary. Hyvin monissa aina 1950-luvulle asti rakennetuissa saleissa on tunnistettavissa paraabelisalien sukulaisuus. Sellaisia ovat muiden muassa Tanskan radion sali, Göteborgin konserttisali, Berliinin musiikkikorkeakoulun sali, Lontoon Royal Festival Hall ja Suomessakin Turun konserttisali ja Lahden/Viipurin musiikkiopiston sali.

Vuosisadan alkupuolella rakennetuista saleista vain vanhaan muotomaailmaan nojautuva Bostonin Symphony Hall on päässyt arvostettujen musiikkisalien joukkoon. Epäonnistumisista on kuitenkin seurannut monta uutta havaintoa ja tutkimuksen ai-  
hetta.

## KÖÖPENHAMINAN RADIOTALON SALI

Toisen maailmansodan aikana rakennetun Tanskan radion konserttistudion ensisijaiset ongelmat olivat muusikkojen heikko keskinäinen kuuluvuus ja tilasta tulevan palaut-

Turun konserttisali (Arkkitehtitoimisto Hytönen & Luukkonen, Arkkitehtitoimisto Alpo Halmeen kuva-arkisto).



teen vaimeus. Näiden ongelmien poistamiseksi Vilhelm Lassen Jordan suoritti laajoja selvityksiä. Heikko keskinäinen kuuluvuus oli seurausta esityslavan liian suuresta leveydestä, jota tehosti salin sektorimainen pohjamuoto, sekä katon suuntauksesta, joka ohjasi kaiken siihen kohdistuvan äänen salin perälle kohti yleisöä. Esityslava oli lisäksi kovin loivasti porrastettu. Jyrkkä porrastus olisi tehostanut suoran äänen kuuluvuutta esiintyjien välillä. Hyvä keskinäinen kuuluvuus edellyttää, että orkesterin alueen sivuilla on riittävän lähellä ääntä heijastavat pinnat. Lavan yläpuolella olevan katon pitää olla riittävän matalalla ja siten suunnattu, että ääni heijastuu esiintyjillekin. Olosuhteiden parantamiseksi kattoon ripustettiin ääntä heijastavia levyjä.

Tämän kohteen ongelmia selvitellessään ja Oslon konserttisalia suunnitellessaan Jordan kehitti uuden akustisen tunnusluvun, inversioindeksin. Paraabelisalissa ääni ohjautuu vain kuulijoille. Esiintyjälle salista tuleva voimakas palaute on välttämätön. Helsingin Kaupunginorkesterin loistavaa bassonsoittajaa Jorma Katramaa lainatakseni: ”Musiikko soittaa instrumentillaan salia”. Esiintyjän toive täyttyy, kun äänen voimakkuuden kasvu on esityslavalla mahdollisimman nopeaa ja nopeampaa kuin muualla salissa. Jos äänikentän rakentuminen on esityslavalla hitaampi kuin yleensä salissa, vallitsee käännteistila ja esiintyjän palaute on riittämätön. Hyvä palaute esiintyjälle saadaan, kun esityslavan seinä- ja kattopinnat ovat riittävän lähellä ja salin katossa on poikittaisia palkkimaisia sekä seinillä pilarin tapaisia, ääntä takaisin esiintyjälle heijastavia pintoja.

## ROYAL FESTIVAL HALL

Salin suunnittelu alkoi välittömästi sodan jälkeen 1948. Salisuunnittelun arkkitehtoninen ajatusmalli oli puolen vuosisadan kuluessa täysin muuttunut. Kun sali otettiin

käyttöön, havaittiin, etteivät musiikkisalien toteuttamiseen tarvittavat tiedot ja taidot olleet riittäviä.

Royal Festival Hallin sali oli oikeastaan konserttisaliksi liian suuri. Siellä on 3000 istumapaikkaa. Jälkikäiunta-aika oli salin kokoon nähden liian lyhyt erityisesti basson alueella. Tilan tuntu ja palaute oli heikko. Salin viimeistelyyn liittyi kuitenkin mielenkiintoinen yksityiskohta. Ennen varsinaista käyttöön ottoa salissa järjestettiin koekonsertteja. Sama orkesteri soitti samoja valittuja teoksia ja kuulijoiksi kutsutut asi-antuntijat antoivat kunkin konsertin jälkeen lausuntonsa. Niiden perusteella konserttien välillä tehtiin muutoksia, joiden arvioitiin parantavan moitteita saaneita ominaisuuksia. Kuinka ollakaan, sattuipa kerran, että rakennusmiehet olivatkin lakossa, eikä mitään muutoksia tehty. Kuitenkin yhtä lukuun ottamatta kuulijat arvioivat akustisten ominaisuuksien muuttuneen. Tämä osoittaa, miten vaikeaa salin ominaisuuksien tarkka arviointi on, jos kuuntelukertojen välillä kuluu jonkin aikaa. Pitäisi rakentaa järjestelmä, jossa muutos voidaan tehdä hetkessä.

## NEW YORK LINCOLN CENTERIN KONSERTTISALI

1950-luvun lopulla suunniteltiin New Yorkin vanhan Metropolitan-oopperatalon, jonka akustiset ominaisuudet eivät olleet tyydyttävät, purkamista ja koko alueen, Lincoln Centerin, uudelleen järjestelyä. Tähän kokonaisuuteen suunniteltiin uutta konserttitaloa, jonka akustiseksi suunnittelijaksi tuli ajan epäilemättä tunnetuin konsulttitoimisto Bolt, Beranek & Newman Inc.

Monista akustiikan perusteoksista tunnetun professori Leo L. Beranekin johdolla oli jo ennen suunnittelun aloittamista suoritettu laajoja tutkimuksia ja musiikkisalien ominaisuuksia kartoituksia. Niistä ja Lincoln Centerin salin suunnittelusta on ha-

vainnollisesti kerrottu hänen teoksessaan *Music, Acoustics & Architecture*. Tutkimusmenetelmä muistutti lähinnä suunnittelijan ekskursiolle lähtemistä. Teoksessa on esitelty leikkaus- ja pohjapiirroksin sekä valokuvin 54 musiikkisalaa, niiden tilavuudet, yleisömäärät, jälkikaiunta-ajat, kuvauksia verhouksrakenteista ja esityslavajärjestelyistä. Akustisia ominaisuuksia on arvioitu tunnettujen käyttäjien antamien lausuntojen sekä omakohtaisten kuulohavaintojen mukaan. Kartoituksen perusteella hyviksi todetuista saleista tehtiin eräänlaiset tilastolliset johtopäätökset toimivan musiikkisalain suunnittelumiseksi.

Kaikkeen tähän laajaan tietoon perustuen käynnistyi akustinen suunnittelu Beranekin johdolla pääavustajanaan Russel Johnson, joka meillä tunnetaan Lahden Sibeliusalon akustisena suunnittelijana. Kaiken piti siis olla selvää. Kun sali sitten 1960-luvun alussa valmistui, arvostelu oli murskaava. Vaikka mitattu jälkikaiunta-aika oli hyvä, tilan tuntu eli salin soivuus oli heikko ja basso oli kadonnut jonnekin siitä huolimatta, että jälkikaiunta-aika matalilla äänillä näytti oikealta.

Mitä olikaan tapahtunut, missä kohdin tieto oli riittämätön?

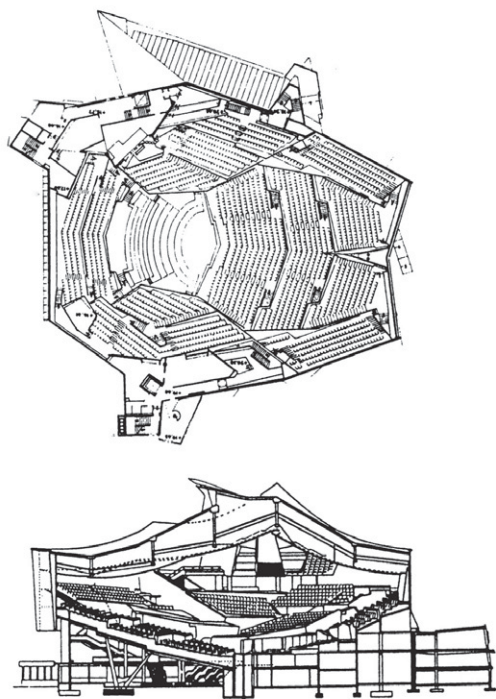
Kohteen akustinen suunnittelutoimisto oli monissa uusissa saleissa ja vanhojen salien korjauksissa käyttänyt menestyksellisesti aikaisemmin Tanskan radiotalon salin yhteydessä mainittuja orkesterin alueen yläpuolelle ripustettuja heijastinlevyjä, ”clouds”. Niillä saatiin aikaan orkesterin keskinäistä kuuluvuutta parantavia heijastuksia ja sopivasti aseteltuina myös nopeita, selvyyttä parantavia heijastuksia kuulijoille. Edellä selostetun musiikkisalien akustisten ominaisuuksien kartoituksen yhteydessä oli selvinnyt, että musiikillinen maku suosi pitkää jälkikaiunta-aikaa. Beranek oli selvittänyt myös yleisön alueen absorptiota. Absorptio oli sama riippumatta siitä, miten väljästi istuimet olivat. Uusissa saleissa mukavuutta

haluttiin parantaa ja yleisön alue samalla istuinmäärällä kasvoi. Pitkän jälkikaiunta-ajan saavuttamiseksi salin tilavuutta piti kasvat-  
taa, mikä käytännössä merkitsi korkeuden lisäämistä. Ripustettujen levyjen ja varsinaisen katon välinen etäisyys kasvoi, koska levyjen piti nopeiden heijastusten vuoksi olla riittävän matalalla. Suhteellisen pienet levyt eivät kuitenkaan pystyneet heijastamaan aallonpituudeltaan suurempaa, matalaa äänialuetta. Aikaisemmin oli hyvin tunnettua, että matalat äänet peittävät tehokkaasti korkeita ääniä. Osoittautui, että korkeatkin äänet peittävät matalan äänialueen, jos matalat äänet tulevat liian myöhään.

Tätä ilmiötä on vähän toisesta näkökulmasta tutkinut diplomi-insinööri Juhani Borenus. Etenkin salien äänentoistojärjestelmissä kaiuttimien sijoitus on usein ongelmallinen. Matalin bassoalue ei äänen tulosuunnan havaitsemiseen ole kovin merkityksellinen. Kaiutin voidaan sijoittaa melko vapaasti. Pienikokoisille keski- ja diskanttialueen kaiuttimille onkin helpommin löydettävissä sijoitus kuin suurille bassokaiuttimille. Borenus selvitti, millä tavalla basson eriaikainen saapuminen vaikutti äänen laatuun. Havaintojen mukaan äänen pitää tulla samanaikaisesti tai bassoääni voi saapua hivenen mutta ei liiaksi myöhästyneenä. Tulos on huono, jos bassoääni saapuu ennen muuta taajuusalueita.

## SIRKUS KARAJAN

Berliinin Filharmonikkojen konserttisali, lempinimeltään ”Sirkus Karajan”, on syntynyt arkkitehti Hans Scharounin voit-taman suunnittelukilpailun seurauksena. Scharoun kuvaili ajatusmalliaan seuraavasti. Kun ihmiset tulevat seuraamaan pihasoittajan esitystä, he asettautuvat ensin soittajan etupuolelle ja vähitellen sivuillekin. Kun yleisön määrä kasvaa, taimmat eivät enää edes näe soittajaa ja siirtyvätkin hänen taak-



Berliinin Philharmonie (DLW Nachrichten 36/1964).

seen. Näin tietenkin pitää olla myös konserttisalissa. Ajatuskulussa on kuitenkin hyvin monta virhettä: ensinnäkin konserttiin tullaan kuuntelemaan musiikkia, ei katsomaan; toisaalta suuri sinfoniaorkesteri ei ole pihasoittaja; lisäksi salin pitää olla soiva tila, jonka vaatimukset poikkeavat avoimen pihan ominaisuuksista.

Lähtökohdat hyvän konserttisalin syntymiselle, toisin kuin vanhan mallin mukaisessa pitkänomaisessa ”kenkälaatikossa”, olivat kaikkea muuta kuin otolliset. Saksan tunnetuin akustiikan tutkija Lothar Cremer pystyi kaikesta huolimatta yhdessä Scharounin kanssa luomaan ehdotuksesta vähintäänkin tyydyttävästi toimivan konserttisalin. Orkesterin keskinäinen kuuluvuus varmistettiin esityslavan voimakkaalla

porrastuksella ja sitä ympäröivillä korkeilla seinämällä, jotka eivät kuitenkaan ulotu kattoon asti. Esityslava on aivan tyyppillisen vanhan konserttisalin mittojen mukainen. Ongelmana oli kuitenkin kattopinnan suuri korkeus, mikä tarvittiin riittävän pitkän jälkikaiunta-ajan saavuttamiseksi. Katosta ripustettiin heijastinlevyjä.

Salissa ei ollut kunnollisia seiiniä ja kattopintakin oli pääosin niin korkealla, ettei kuulijoille saatu selvyyttä parantavia nopeita heijastuksia. Yleisön alue muokattiinkin kahdella tavalla porrastetuksi. Ensin oli porrastus sellaisena kuin se on yleinen salien loivasti nousevissa katsomossa. Sen lisäksi aina muutaman penkkirivin jälkeen tehtiin voimakas lattiapinnan korotus kuten rinteeseen rakennetussa viinitarhassa – ”Weinbergstufen”. Näin välittömästi kuulijoiden taakse ja sivuillekin syntyi korotuksen seinän ja siihen liittyvän kaiteen vaikutuksesta tehokas heijastava pinta. Vaikka joissakin salin osissa orkesterin tasapaino on jäänyt huonoksi, salityypillä on ominaisuuksia, joita ei voida sivuuttaa – lisäksi salityyppiin näyttävät olevan ihastuneita monet solistit ja etenkin kapellimestarit, joita voidaan ihailla tapahtuman keskipisteenä.

## UUSIA TUTKIMUSMENETELMIÄ

Edellä Lontoon Royal Festival Hall -salin ja Lincoln Centerin konserttisalin esittelyn yhteydessä todettiin miten hankalaa salin äänikentän ominaisuuksien arviointi on. 1960-luvulle tultaessa sähköinen äänentoisto, äänen muokkaaminen ja mittaustekniikka oli edistynyt siten, että uudet tutkimusmenetelmät olivat mahdollisia. Huoneakustiikkaa oli pääsääntöisesti suunniteltu melko puhtaana fysiikan osana. Sen sijaan kunnollista tietoa ei ollut siitä, miten ihminen kokee äänikentän ominaisuudet kuten eri suunnista saapuvien heijastusten voimakkuudet ja aikaerot ja millainen on raken-

teeltaan todella hyvä äänikenttä. Äänikentän ominaisuuksien arvioimiseksi muutosten tuli tapahtua äkillisesti ja tarvittaessa useita kertoja kumpaankin suuntaan. Tämä oli mahdollista uudella tekniikalla. Tutkimuksia vauhditti epäilemättä myös mielenkiinto stereofoniseen äänentoistoon.

Heijastuksettomaan tilaan asennettiin kaiuttimet, joilla muodostettiin salitilaa vastaavat suoraan tuleva ääni, heijastukset ja kaiunta eli synteettinen äänikenttä. Kaikkia äänikentän ominaisuuksia voitiin hetkessä muuttaa ja aina tiedettiin täsmällisesti sen ominaisuudet. Musiikkitilaa arvioitaessa toistettiin musiikkia ja kuulijoilta kysyttiin miltä sen laatu tuntui. Kokeiluissa lähdettiin tavallisesti yksinkertaisista muutoksista ja edettiin vähitellen monipuolisempiin rakennelmiin.

Keskeisesti salien akustiseen suunnitteluun vaikuttivat P. Damaske ja Dresdenin teknillisen yliopiston professori W. Reichard, jotka osoittivat ihmisen kuuloaisti olevan erittäin herkkä sivuilta saapuvalla äänelle. Riittävän voimakkailla sivuilta tulevilla nopeilla heijastuksilla on keskeinen vaikutus ihmisen kokeman tilan vaikutelmaan ja musiikin laatuun. Hyvässä musiikkisalissa pitää kuulijalle tulla nopeita ääniheijastuksia sivuilta. Tämä selittääkin vanhojen kapeiden suorakulmion muotoisten salien erinomaisuuden. Saksan radion tutkimuslaitoksen IRF:n johtaja tohtori Walter Kuhl kokeili laajasti sivulta tulevan äänen merkitystä eri saleissa. Esimerkiksi Frankfurtin radiotalon salissa, jossa matalat sivukäytävät ja paksut kehäpilarit estävät lähes täydellisesti hyödylliset sivuheijastukset, tilan tuntu saatiin heräämään sijoittamalla sivuille kaiuttimia, joihin orkesterilta otettu signaali syötettiin sopivasti viivästettynä.

Kuuloaistin herkkyys sivusuuntaan on itse asiassa hyvin luonnollinen asia. Ihminen vastaanottaa ensisijaisesti informaation näköaistinsa avulla. Kun näkökenttä sivuilla loppuu, kuuloaisti on avainasemassa

varoituselimenä. Tällä samalla luolamiehen kuuloaistilla me yhä kuuntelemme salissa musiikkia.

Funkkiksen paraabelisalit käänsivät ääniheijastukset salin pituusakselin suuntaisiksi, mikä hävitti soivan tilan tunnun. Lontoon Royal Festival Hall on niin leveä, että sivuheijastukset tulevat myöhään ja heikkoina. Lincoln Centerin salin seinien muotoilu esti lähes täydellisesti sivuilta tulevat heijastukset. Lontoon salin tilan tuntua on parannettu sähköisellä saliaäänijärjestelmällä.

Lincoln Centerin salin kaikki sisärakenteet purettiin ja korvattiin uusilla. Se tunnetaan nykyisin nimellä Avery Fisher Hall.

Stereofoninen äänentoisto oli yleistynyt. Musiikin harrastajan toiveena oli, että kaiuttimista kuuntelu antaisi samanlaisen tilan tunnun kuin istuisi konserttisalissa. Ortoperspektan kehittäjää Tapio Köykkää häiritsi tavallisessa stereotoistossa tilan tunnun puute sekä niin sanottu ping pong -stereo, jossa ääni hyppeli kaiuttimesta toiseen. Kun kaksikanavainen stereo äänitetään tilassa olevalla kahdella mikrofonilla, niihin edestä tulevat ääniaallot saapuvat samanvaiheisina mutta tilan pinnoista etenkin sivuilta tulevat heijastukset satunnaisesti saman- tai erivaiheisina. Kun muodostetaan signaalien summa, samanvaiheiset vahvistuvat ja vastakkaisvaiheiset vaimenevat. Erotusta muodostettaessa taas vastakkaisvaiheiset vahvistuvat mutta samanvaiheiset eli edestä tulevat äänet vaimenevat. Erotussignaalin voimakkuus on luonnostaan heikko. Kun sitä vahvistetaan ja sen toistoon käytettävät kaiuttimet sijoitetaan kuulijaan nähden sivuille, saadaan voimakas soivan tilan tuntu. Kaksi tavanomaista stereokaiutinta voidaan lisäksi korvata yhdellä, johon ajetaan summasignaali, eikä keskellä oleva esiintyjä enää hypi kaiuttimesta toiseen.

Stereofoninen laadukas äänentoisto muutti melko yllättävästi musiikkisaleihin kohdistuvia vaatimuksia. Äänite voitiin ottaa läheltä, jolloin selvyys oli hyvä. Siihen



lisättiin kaiuntaa, eikä selvyys siitä oleellisesti kärsinyt. Basson korostaminen oli jo äänitteissä mahdollista, mutta monet kuunnellessaan lisäsivät basson voimakkuutta. Myös diskanttialue voidaan säätää hyvin kirkkaaksi. Konserttisalissa selvyys kärsii, jos kaiuntaa merkittävästi lisätään. Luonnollisilla soittimilla ei voida saada ylikorostettua basson voimakkuutta ja suuren salin ilman absorptio vaimentaa kaikkein korkeimman diskanttialueen kirkkautta. Musiikkia kuunnellaan äänitteistä enemmän kuin istumalla konserttisalissa. Seurauksena voikin olla arvostelu: ”Minun stereoisani on kyllä muhkeampi basso kuin tässä salissa”. Salien akustisia ominaisuuksia onkin ollut pakko kehittää muuttuneen musiikki- maun mukaan.

Synteettisen äänikentän avulla voitiin kätevästi tutkia myös suoraan tulevan äänen, ensimmäisten eri suunnista tulevien nopeiden heijastusten ja kaiunta-äänien keskinäisiä suhteita. Näin muodostettiin erilaisia selvyyttä ja tilan tuntua kuvaavia lukuja, jotka myös valmiissa salissa voitiin mitata. Jälkikaiunta-ajanakin todettiin olevan vain osittain kelvollinen musiikkisalini arvioinnissa. Kun jälkikaiunta-aika määritellään ajaksi, jolloin äänitaso alenee 60 dB äänilähteen äkillisesti vaiettua, sitä ei havaita koko pituudeltaan musiikin jatkuessa. M. Schröder on osoittanut, että vain äänitason alentumisen alkuosalla on todellista merkitystä.

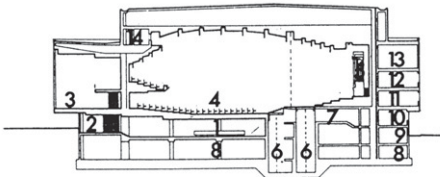
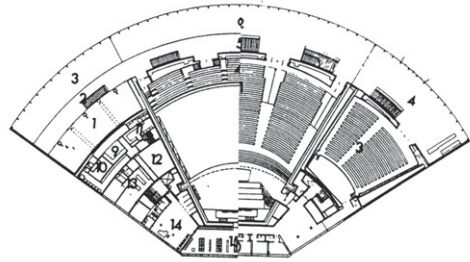
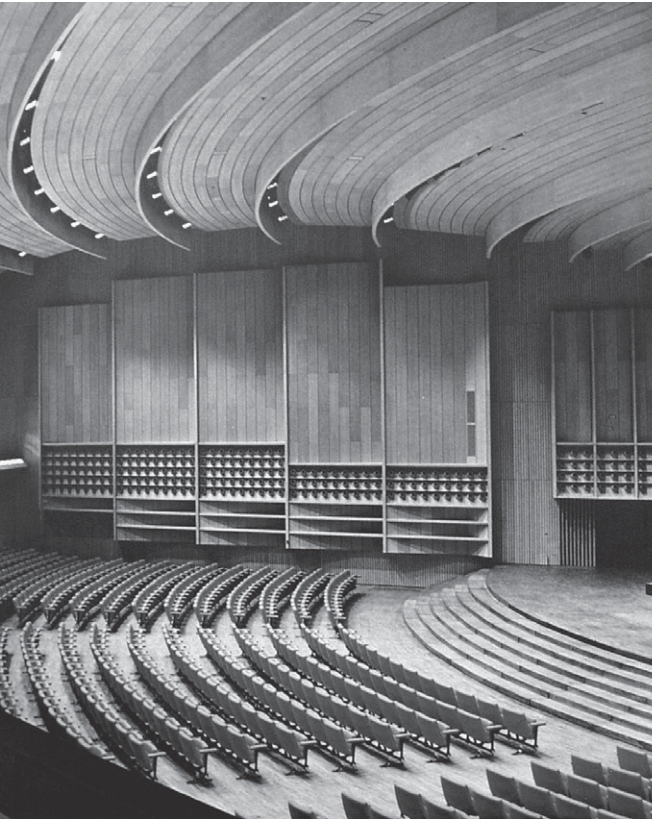
## PIENOISMALLIT

Tutkimusten avulla oli pystytty luomaan monia mitattavia suureita salin akustisen toimivuuden arvioimiseksi. Kun musiikkisali sitten on suurin toivein rakennettu, ei siitä ole kovinkaan suurta iloa, jos mittauksin luotettavasti todetaan: susi tuli.

Pienoismallien käyttöä konserttisalien suunnittelussa oli kokeiltu jo 1930-luvulla. Koska ääni on aaltoliikettä, voidaan

rakentaa vesiallas, jonka muoto vastaa salin pituusleikkausta, aiheuttaa äänilähteen kohdalle häiriö ja aaltoliikkeen etenemistä tarkastellen tehdä päätelmiä äänen etenemisestä. Myös valomalleja on kokeiltu. Valolla saadaan kolmiulotteinen malli. Sellainen tehtiin mm. Tanskan radiotalon salista. Suomessakin Paavo Arni suoritti jo 1940-luvulla mallikokeiluja. Niistä saatu hyöty oli kuitenkin vaatimaton.

1960-luvulle tultaessa mittaustekniikka oli kehittynyt niin, että akustiset mittaukset tulivat mahdollisiksi pienoismalleissa. Mallitutkimuksen todellinen uranuurtaja ja kehittäjä oli Pohjoismaiden merkittävin saliakustiikan suunnittelija tohtori Vilhelm Lassen Jordan. Lopullisessa salissa mittaus- ten suorittamiseen oli jo monipuoliset mahdollisuudet. Ongelmana oli, miten vastaavat toimenpiteet voidaan tehdä pienoismallissa suunnitteluvaiheessa. Eräitä poikkeuksia lukuun ottamatta lähtökohdat ovat yksinkertaiset. Kun sali pienennetään jossakin mittakaavassa, äänen aallonpituus on lyhennettävä samassa suhteessa. Jos mallin sisällä on ilmaa, äänen etenemisnopeus säilyy entisellään ja aallonpituus lyhennetään suurentamalla taajuutta samassa suhteessa. Pienoismallisuhteen ollessa 1/10 taajuus kasvatetaan kymmenkertaiseksi jolloin 100 Hz:n ääntä mitataan 1000 Hz:n äänellä ja 4000 Hz:n ääntä 40 000 Hz:n ultraäänellä. Mittauslaitteiden pitää toimia myös näillä suurilla taajuuksilla. Mallin pintarakenteiden absorption pitää olla käytettäviä taajuuksia vastaavat. Kun äänen etenemisnopeus pysyy muuttumattomana ja sen kulkumatka lyhenee, ilmiöt mallissa tapahtuvat vastaavasti suuremmalla nopeudella. Jos salin jälkikaiunta-aika on 2 sekuntia, se mittakaavan 1/10 mallissa on 0,2 sekuntia. Salitiloissa mittauksiin käytetään pallomaisia äänilähteitä, tavallisesti kaiutinta. Mallissakin äänilähteen pitää olla pallomainen. Kaiutin onkin korvattu yleisesti sähkökipinällä. Mallin mittakaavaa rajoittaa merkittävästi ilman



Brucknerhaus (Arkkitehtitoimisto Kaija ja Heikki Siren, Arkkitehtitoimisto Alpo Halmeen kuva-arkisto).

absorptio, joka suurilla äänitaajuuksilla ja ultraäänen alueella on paljon suurempi kuin varsinaisilla äänitaajuuksilla. Absorption kasvu on voimakkaampi kuin mittakaavan muutos edellyttäisi. Ilman ominaisuuksien muuttamisella tai ilman vaihtamisella toiseen kaasuun voidaan jonkin verran pienentää ongelmia.

## BRUCKNERHAUS LINZISSÄ

Arkkitehdit Kaija ja Heikki Siren voittivat 1962 kansainvälisen arkkitehtikilpailun, jonka kohteena oli Itävaltaan Linzin kaupunkiin rakennettava säveltäjä Anton Brucknerin mukaan nimettävä konserttitalo. Kilpailuehdotuksen perusratkaisuna olivat kaksi sektorin muotoista salia ja niiden takana kaa-

reva lämpiö, josta suurten lasiseinien kautta avautui mahtava näköala vieressä virtaavalle Tonavalle. Kun suunnitelmaa lähdettiin kehittämään, rakennuttajan valitsema akustikan suunnittelija professori F. Bruckmayer edellytti, että salit on muutettava suorakaiteen muotoisiksi mallina Wienin Grosser Musikvereinsaal. Arkkitehtuurikilpailussa voittaneen suunnitelman hengestä ei olisi jäänyt mitään jäljelle. Ratkaisumallista ei päästy yhteisymmärrykseen ja suunnitelmiin kehittelyyn kului vuosia.

Sirenin arkkitehtitoimiston suunnitelmien mukaan oli jo rakennettu mm. Kansallisteatterin pieni näyttämö, Oriveden kirkko ja Lahteen konservatorion konserttisali. Kaikissa kohteissa akustisena konsulttina oli ollut Insinööritoimisto Paavo Arni & Co, jonka toimivana osakkaana olin ollut

jo muutamia vuosia. Neuvottelimme Heikki Sirenin kanssa mahdollisuuksista toteuttaa moitteettomasti toimiva konserttisali sektorin muotoiseen tilaan. Ristiriitaan saatiin vihdoinkin ratkaisu siten, että arkkitehti otti vastuulleen salien akustisen suunnittelun ja Bruckmayer vastasi muusta akustisesta konsultoinnista. Ratkaisuun saattoi vaikuttaa myös tieto siitä, että olimme samanaikaisesti suunnittelemassa Itävallan radiolle osavaltioiden studiorakennuksia Linziin, Salzburgiin, Innsbruckiin ja Dornbirniin.

Pohjajamuodoltaan sektorimaista salia oli pidetty mahdottomana ajatuksena. Linzin salin suunnittelussa tavoitteena oli toteuttaa myös arkkitehtonisesti näyttävällä tavalla käytettävissä oleva saliakustiikan tieto. Jälkikäiunta-ajan määrittäminen oli luonnollisesti jo rutiinia. Bassoalueen tasapainottamiseksi voitiin käyttää hyvin paksua seudulta saatavaa tammea. Esityslava on porrastettu ja sen sivuseinistä saadaan esiintyjille nopeita heijastuksia. Orkesterin alueen katto on sopivalla korkeudella. Sen muotoilussa on eräs erikoispiirre. Poikittaiset pinnat palauttavat ääntä esiintyjille kuitenkin niin, että jousiston ääni pääsee vapaammin heijastumaan myös saliin kun taas vaskien äänen etenemistä jarrutetaan. Salin katossa on järjestelmällisesti lähes vaakasuoria pintoja, jotka välittävät ääntä kuulijoille sekä poikittaisia kaaria, jotka palauttavat ääntä esiintyjille juuri Jordanin esittämien periaatteiden mukaan.

Ja sitten se sektorimuoto. Ihminen näkee salin visuaalisen muodon. Soivan tilan kannalta on yhdentekevää, minkä muotoinen sali on, kunhan äänikenttä muodostuu oikeaksi. Sektorimaisen salin seinät on muotoiltava siten, että heijastus tulee sivuilta. Juuri näin on menetelty Linzin salissa.

Salista rakennettiin akustinen pienoismalli. Meillä Suomessa ei silloin vielä ollut mahdollisuuksia mallitutkimuksiin. Epäilemättä oli suuri onni, että mallitutkimukset suoritettiin professori

W. Reichardin johdolla, hänen, jonka tutkimuksiin perustuen sivuheijastukset voitiin toteuttaa sektorimaisessakin salissa. Sali valmistui 1974 ja sai vihkiäiskonsertissa Wienin Filharmonikkoja johtaneelta Herbert von Karajanilta kiitettävät arvostelut.

## VIIMEISET VUOSIKYMMENET

1980-luvulle tultaessa myös musiikkisaleja koskeva akustinen tietous oli täydentynyt siten, että niiden perusteella hyvin toimiva soiva tila oli toteutettavissa. Pienoismallien käyttö lisääntyi, mutta salien mallinnus tietokoneiden avulla valtasi vähitellen alaa. Ensin tietokoneella tehtiin lähinnä geometrisen huoneakustiikan heijastuskuvioita ja jälkikäiunta-ajan laskelmia. Siinä se olikin paljon ketterämpi kuin kynän kanssa puuhaileva piirtäjä. Vähitellen ohjelmat kehittyivät siten, että huoneakustiset tunnusluvutkin voitiin määrätä.

Pienoismallissa mittausääninä oli käytettävä lyhyttä impulssia. Saatu impulssivaste voitiin ajaa hidastettuna ja sitten kuunnella, miltä se kuulostaisi valmiissa salissa. Menetely vastasi akustikkojen yleisesti käyttämää menetelmää. Saliin tullessaan hän pamautti kädet yhteen ja voi havainnon perusteella arvioida tilan ominaisuuksia. Tietokonemallinnuksen avulla voidaan kaiuttomassa tilassa äänitettyyn musiikkiin liittää salin ominaisuudet. Salia voidaan kuunnella, vaikka sitä ei vielä ole edes rakennettu

Konserttisalien rakentaminen jatkui vilkkaana. Salien perusratkaisuissa suosikiksi muotoutuivat klassillinen kenkäläättikkotyyppi jonkin verran muunneltuna ja erityisesti kapellimestarien rakastama ”Sirkus Karajan”. Edellistä tyyppiä ovat mm. Osakan konserttisali, Tokion Casals Hall, Dallasin, Birminghamin, Nottinghamin salit sekä Lahden Sibelius-Sali, jälkimmäistä taas Leipzigin uusin Gewandhaus, Cardiffin ja Toronton salit.

## KEHITYS SUOMESSA

1800-luvun alkuun mennessä maahamme oli rakennettu hyvin vähän muita salirakennuksia kuin kirkkoja. Niistäkin suurin osa oli kooltaan suhteellisen pieniä. Vuosisadan kuluessa uusien kirkkojen lisäksi toteutettiin muitakin rakennuksia, joissa sali oli oleellinen osa. Kaupunkien hallintorakennuksiin, raatihuoneisiin kuului kokous- ja juhlasali. Malliesimerkkejä löytyy vaikkapa Oulusta, Vaasasta, Hämeenlinnasta ja Kuopiosta. Helsingin yliopisto sai juhlasalinsa. Ritarihuone on edelleenkin suosittu kamarimusiikkisali. Salit rakennettiin vanhojen hyväksi havaittujen kaavojen mukaan. Varsinaisesta akustisesta suunnittelusta ei ollut kysymys.

Välittömästi vuosisadan vaihteen jälkeen käynnistyi teatterien rakentaminen, ensimmäisenä Kansallisteatterin rakennus ja sitten Tampereen ja Turun kaupunginteatterit. Suunnittelijain kiinnostusta akustisiin ilmiöihin osoittaa esimerkiksi Alvar Aallon Viipurin kirjaston leikkauspiirroksessa esitetyt äänen heijastuskuviot. Poikkeuksellisen vaativa tehtävä oli 1931 valmistuneen Eduskuntatalon rakentaminen, jonka jälkeen suunnittelussa mukana ollut diplomaatin J. I. Packalen esitti Teknillisen aikakauslehden artikkelissa luottamuksensa akustisen osaamisen tasoon aikaisemmin tässä artikkelissa siteeratulla tavalla. Samana vuonna valmistui ainoa sotien välisellä ajalla rakennettu varsinaisen konserttisali, Konservatorion sali. Arkkitehti Forsmanin toimistossa nuorena arkkitehtina työskennellyt, myöhemmin Olympiastadionin toisena suunnittelijana tunnettu Toivo Jäntti kertoili mielenkiintoisia tarinoita salin akustisesta suunnittelusta, kun teekkarina 1950-luvun alussa puuhailin hänen toimistossaan. Salin lattian tuli olla vaakasuora, mutta parvekkeet kuuluivat ilman muuta musiikkisaliin. Eritystä huomiota oli kiinnitettävä lattian rakenteeseen ja rappaukseen. Vain parketti oli oikea lattiamateriaali soivan tilan aikaan-

saamiseksi. Rappauksen eri kerrokset tuli hiertää siten, että siihen jäi riittävä huokoisuus.

1930-luvun lama ja sota pysäyttivät kehityksen, joka jälleenrakentamisen myötä pääsi entistäkin kovempaan vauhtiin. Yleisradiotoiminta ja etenkin Paavo Arnin välittömät suhteet Sveitsin, Saksan ja Pohjoismaiden akustiikan asiantuntijoihin mahdollistivat uusimman tiedon välittömän käyttöönoton meilläkin. Arnin kirja ”Käytännöllisen akustiikan perusteet” 1949 sisälsi lähes kaiken oleellisen tiedon, joka ajankohtana oli olemassa. Ääniteknillisen Yhdistyksen (1943) – nykyisen Akustisen Seuran – toiminnan ansiosta alan tuntijoiden piiri laajeni ja opetuskin pääsi vähitellen käyntiin 1950- ja 1960-luvuilla.

## UUSIA RAKENNUKSIA

Vuosisadan jälkipuolisko voidaan maassamme toteutetun salirakentamisen ja akustisen suunnittelun perusteella jakaa karkeasti kolmeen kauteen. Ensimmäinen päättyi 1960-luvun lopulle, toinen 1990-luvun lamaan.

Ensimmäisen kauden aikana rakennettiin kaksi varsinaista konserttisalia ja yksi konserttisaliksikin kelpaava juhlasali. Turun konserttisali 1953 ja Lahden konserttisali 1954 ilmensivät hyvin ajan käsitystä musiikkisalista. Molemmissa akustiikan suunnittelijana oli Paavo Arni, Turun sali oli ystävyyskaupunki Göteborgin lahja ja suunnittelussa avusti myös V. L. Jordan. Molemmissa saleissa katto on muotoiltu antamaan nopeita heijastuksia kuulijoille. Jälkikäiunta-ajan ja esityslavan mitoitukset ovat kohdallaan. Poimuiseksi muotoilluissa pinnoissa näkyy jo pyrkimys äänen tasaiseen jakamiseen mutta jatkuva palaute esiintyjille puuttuu. Turun salissa on seurauksena äänen heijastuminen salin perältä takaisin esityslavalle erikseen kuultavana kaikuilmionä. Sivulta tulevien heijastusten merkitystä ei vielä tun-

nettu. Turun salissa avoimet sivukäytävät hävittävät sivuheijastuksia samaan tapaan kuin Frankfurтин radiotalon salissa.

Kolmas oli Kulttuuritalon sali 1957. Se on pohjamuodoltaan hyvin leveä sektori, tehokkaat sivuheijastukset puuttuvat ja esityslava on suurelle orkesterille ongelmallinen. Tilavuus on kuulijamäärään nähden pieni ja jälkikaiunta-aika vain 1,05 sekuntia. Edellä todetusta huolimatta useat solistit, kuten David Oistrach, pitivät sitä miellyttävänä esiintymistilana.

Vuosisadan puolivälin jälkeen rakennettiin useita teatterirakennuksia, kuten Vaasan ruotsalainen teatteri, Lilla Teatern, Kansallisteatterin pieni näyttämö, Tampereen Työvänteatteri, Oulun, Turun, Kuopion ja Helsingin kaupunginteatterit, joista kolmen viimeksi mainitun suunnittelussa olin aktiivisesti mukana. Kaikki ovat ensisijaisesti puhenäyttämöitä ja J. I. Packaleniin yhtyen ”suurin piirtein katsoen hyvä akustiikka varmuudella...”.

## FINLANDIA-TALO

Helsingistä puuttui varsinainen konserttitalo, vaikka kaupungissa toimi peräti kaksi sinfoniaorkesteria, Radio-orkesteri ja Helsingin kaupunginorkesteri. Esiintymispaikkana olivat Yliopiston juhlasali ja Kulttuuritalo. Alvar Aallon keskustasuunnitelman mukaisesti ryhdyttiin 60-luvun puolivälissä suunnittelemaan konserttitaloa, jolle hankkeen edetessä asetettiin myös kongressitalon vaatimuksia. Talon nimeksi tuli Finlandia-talo.

Aallon arkkitehtitoimisto oli jo keskustasuunnitelman yhteydessä tehnyt varsin pitkälle edenneitä luonnossuunnitelmia konserttitalosta. Kun Paavo Arni akustisena konsulttina pääsi mukaan, salin perusmitoitukset ja muoto oli juuttunut arkkitehdin aivoitukseen niin, että välttämättömiä muutoksia oli mahdotonta saada toteutetuiksi. Pahimmat virheet olivat salin etuosan liian suuri

leveys, sivuparvekkeiden alapinnan sijainti liian matalalla ja täysin mieletön kattorakenne, joka ohjasi äänen pääosin varsinaisen salin yläpuolella olevaan tilaan ja vain osittain kuulijoille. Sivusuuntaisista heijastuksista ei ollut tietoaakaan ja palaute orkesterille puuttui. Onnistumisen varmistamiseksi – ehkä pikemminkin ongelmien osoittamiseksi, ehdotettiin pienoismallitutkimusta. Sitä pohjustettiin kutsumalla V. L. Jordan pitämään pienoismallitutkimuksia koskeva esitelmä Äänitekniillisen Yhdistyksen järjestämässä tilaisuudessa. Jälkeenpäin saadun tiedon mukaan Aalto vastusti mallin rakentamista lausahattamalla: ”Eihän sellonsoittajaakaan voida pienentää”. Salin ja sen ylätilan toimivuutta selvitteli Juhani Borenius rakentamalla vastaavan sähköisen analogian. Sekin osoitti selvästi, ettei ratkaisumalli ollut toimiva.

Paavo Arnin kanssa olimme tehneet tilaajalle jo laajan yhteenvedon tulevista akustisista ongelmista, kun hänen äkillinen poismenonsa keväällä 1969 aiheutti todellisen auktoriteetin puutteen arkkitehdin ylivaltaa vastaan. Kun talo oli seuraavana vuonna valmis ja suoritimme siellä mittaukset, loppuraportti päättyi: ”Salissa on kaikki ne virheet, joista olemme varoittaneet.” Salin rakennusteknisen lopputarkastuksen yhteydessä Aallon toimistossa rakentamisen aikana suunnittelua johtanut ”Kale” Leppänen kysyi, miltä sali tuntuu. Vastaukseni oli ”Susi, mikä susi”. Avajaiskonsertti sai kuitenkin melko myönteisen vastaanoton, olihan se sentään paljon parempi kuin Yliopiston juhlasali. Vähitellen kritiikki lisääntyi ja sanomalehdissä olleista konserttiarvosteluista oli kahden vuoden kuluessa löytynyt kaikki ne viat, jotka mittausraportissa oli kerrottu.

Kattorakenteiden korjausmahdollisuuksien selvittämiseksi salista tehtiin pienoismalli. Vaikka näkyvä kattopinta jäi ennalleen, väleissä oleviin aukkopintoihin lisättiin heijastinlevyt, joilla äänen pääsy

ylätilaan rajoitettiin, nopeita heijastuksia ohjattiin kuulijoille oikeille alueille ja ääntä palautettiin esiintyjille. Viimeisissä korjausvaiheissa esityslavan porrastus korjattiin ja lähes avoin katto suljettiin. Alvar Aaltoa kunnioittaen sali on suojeltu, eikä sen liian suurta leveyttä ole mahdollista rakenteellisesti korjata. Joka tapauksessa nykyisellään sali on ominaisuuksiltaan täysin erilainen kuin alkuperäisenä. Maailmassa soitetaan paljon heikommissakin saleissa, mutta huonosta maineestaan se ei pääse eroon.

Akustisen suunnittelun kannalta Finlandia-talon kohtalolla on ollut myös aivan yllättäen positiivinen vaikutus. Seuraavien kohteiden käynnistyessä akustinen suunnittelija on otettu alusta alkaen mukaan ja hankkeen edetessä hänellä on ollut hyvät toimintaedellytykset.

## KULTTUURIKESKUSTEN RAKENTAMISKAUSI

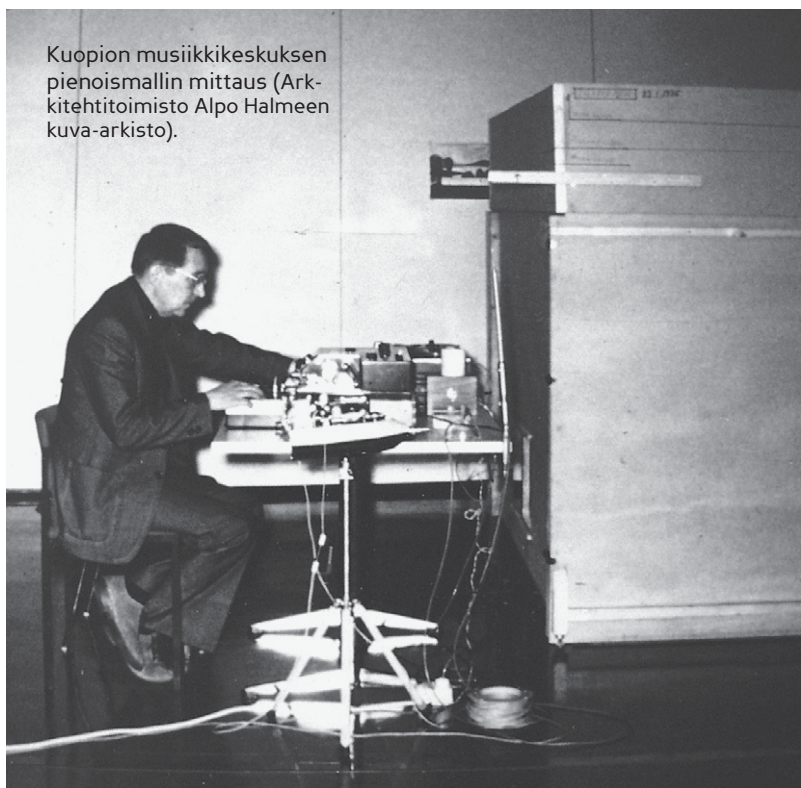
1970-luvulla ensimmäisen energiakriisin aikana julkinen rakentaminen tyrehtyi lähes täydellisesti. Valtiovalta asetti rakentamiselle niin suuren ylimääräisen veron, että monet hankkeet, joiden suunnittelu oli aloitettu, siirtyivät 1980-luvulle, joka olikin varsinainen kulttuurirakennusten toteuttamisen kultakausi.

Kuopion musiikkikeskuksesta oli ollut arkkitehtikilpailu, ja toteutussuunnittelu eteni hyvää vauhtia. Mallitutkimuksia varten olimme hankkineet sekä laitteiston että riittävät rutiinit mallitekniikasta ja mittauksista. Ei tarvinnut kuin mainita Finlandia-talo ja Brucknerhaus niin mallitutkimuksen tekeminen oli hyväksytty. Suomen ensimmäinen varsinainen konsert-

tisalin akustinen mallitutkimus tehtiin 1975. Energiakriisin seurauksena rakennuksen toteutuminen kuitenkin siirtyi lähes kymmenellä vuodella. Suunnittelun uudelleen käynnistyessä salin paikkalukua lisättiin, malli muutettiin uutta tilannetta vastaavaksi ja mittaukset tehtiin uudelleen vielä tehokkaammalla mittauslaitteistolla. Kuopion sali on perinteistä kenkälaatikkotyyppejä kasettikattoineen. Mallimittausten tuloksena saatiin kuitenkin paljon hyödyllistä tietoa, jonka perusteella muokattiin etenkin esityslavan ja salin etuosan katon muotoilua.

V. L. Jordanin ja W. Reichardin aloittamien mallitutkimusten jälkeen mittauslaitteistot olivat kehittyneet valtavasti. Analogisten tallennusmenetelmien tilalle olivat tulleet digitaaliset, joilla päästiin suurempiin nopeuksiin ja taajuuksiin. Tämä teki mah-

Kuopion musiikkikeskuksen pienoismallin mittaus (Arkkitehtitoimisto Alpo Halmeen kuva-arkisto).



dolliseksi kooltaan pienemmät mallit. Kun Jordan rakensi malleja suhteessa 1/8, me rakensimme ensimmäiset mallit 1/10, sitten 1/16 ja lopuksi yleisimmin 1/20. Kun käytettävän äänen taajuutta tuli nostaa, tarvittiin äänilähde, joka ulottui tarpeeksi korkealle ultraäänialueelle. Sen suunnittelimme yhdessä Tapio Köykin kanssa. Hän rakensi generaattorin, jolla synnytetään tarkoituksenmukaiset vakiovoimaiset sähköpurkauksen impulssit. Mallin rakennusmateriaalien absorptiokertoimet näillä suuremmilla taajuuksilla oli selvittettävä ja niiden piti vastata lopulliseen rakennukseen tulevia materiaaleja. Standardin mukaan absorptiokertoimet mitataan kaiuntahuoneessa, jonka tilavuus on noin 200 m<sup>3</sup>. Tutkimuksia varten rakennettiin siis standardin mukaisen kaiuntahuoneen pienoismalli paksusta lasista mittakaavassa 1/10 ja diffuusin äänikentän varmistamiseksi korvattiin kaiuntahuoneissa käytetyt muoviset kattokuvut muovisilla laatikoilla ja niiden kansilla.

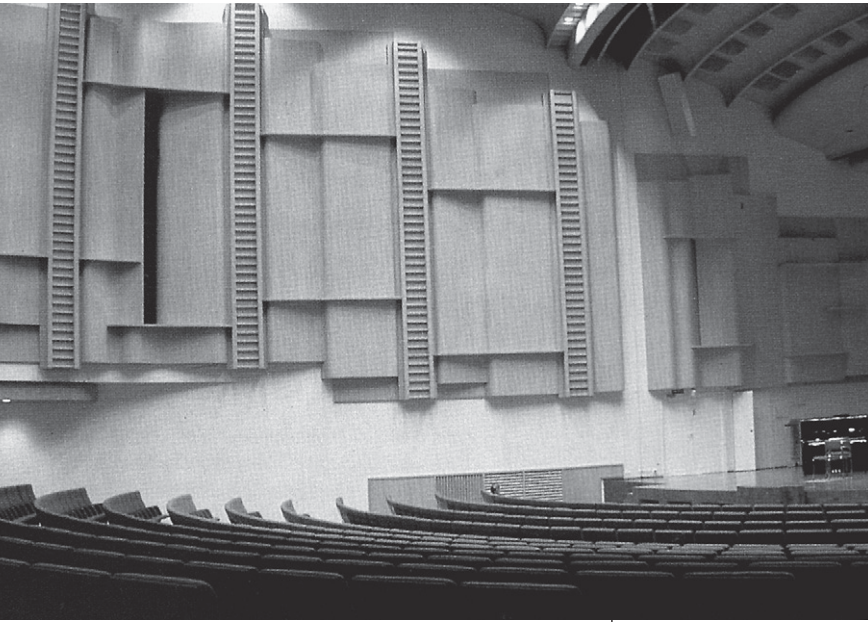
Kun mallin kokoa pienennettiin, väliaineena olevan ilman ominaisuudet kävivät vielä ongelmallisemmiksi. Ilman absorption vähentämiseksi oli aikaisemmin käytetty ilman kuivattamista lähes absoluuttisen kuivaksi. Teknisesti se oli vaikeaa ja työskentely kuten mikrofoniin ja äänilähteiden siirto oli melko toivotonta. Sama ongelma olisi ollut, jos ilma olisi korvattu toisella kaasulla esimerkiksi typpellä. Ilman absorptio on suurimmillaan, kun suhteellinen kosteus on noin 15–20 %. Se vähenee hyvin jyrkästi, kun suhteellinen kosteus pienenee. Absorptio heikkenee myös voimakkaasti suhteellisen kosteuden kasvaessa, mutta suurimmilla arvoilla yli 70 % pysyy lähes muuttumattomana. Käyttämämme menetelmä olikin seuraava: malli sijoitettiin sopivan väljään muoviteltaan ja suhteellinen kosteus nostettiin siellä noin 80 %:n tasoon. Työskentely teltassa oli täysin mahdollista ilman, että suhteellinen kosteus muuttui merkittävästi. Menetelmä ei kuitenkaan poistanut sitä tosi-

asiaa, ettei ilman absorptio täysin vastannut lopullisen salin olosuhteita. Tämä kompensoitiin siten, että mallin rakennusmateriaalit tehtiin hivenen vähemmän vaimentavaksi. Toimivuuden tarkistamiseksi mallissa suoritettiin ensimmäiseksi jälkikaiunta-ajan mittaukset. Kun ne vastasivat salille suunniteltuja arvoja, muita mittauksia voitiin jatkaa.

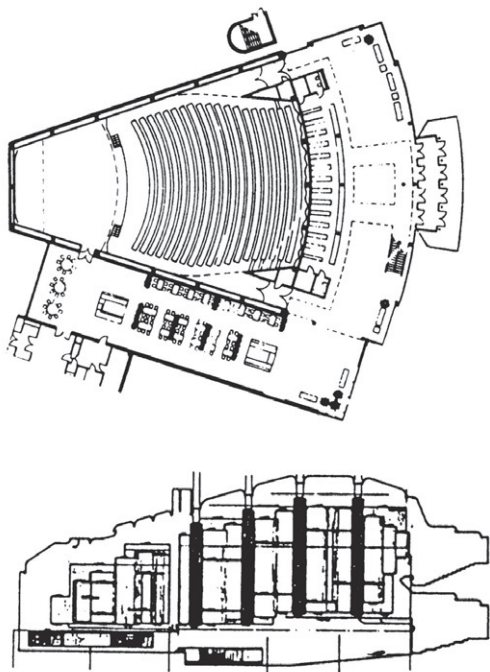
Mallimittauksista tulikin seuraavan vuosikymmenen ajan salien akustista suunnittelua varmentava apuväline. Sekä Suomeen että naapurimaihin ja Lähi-itään suunnitelluissa salirakennuksissa olen suorittanut akustisia mallitutkimuksia yli kolmessakymmenessä merkittävässä kohteessa. Sellaisia ovat muun muassa Mikkelin, Kuusamon, Kuhmon, Kajaanin, Imatran, Kuusankosken, Espoon, Järvenpään ja Hyvinkään salit, Tampere-talon molemmat salit, Lahden ja Vaasan teatterit sekä Kansallisooppera. Keravalle suunniteltiin konserttisali ja Viroon Estonian Uusi Ooppera- ja balettiteatteri, joita ei kuitenkaan ole toteutettu. Vaikka Kuopion malli oli ensimmäinen, hankkeen viivästymisen vuoksi ensimmäinen mallilla tutkittu valmistunut sali oli Lohjan Laurentius-sali.

Ilman mallia, vaikkakin muiden kohteiden mallitutkimuksia hyödyntäen syntyivät myös Raahen, Varkauden, Suolahden, Kokkolan ja Vehkalahden monikäyttösalit, Seinäjoen teatteri ja kampusalueen sali sekä Eliel Saarisen suunnitteleman Kotkan Työväentalon salin muutos konserttisaliksi. Viimeisimmissä suunnitelmissa on käytetty myös tietokonemallinnusta, esimerkiksi Kerava-salissa.

Vuonna 1983 valmistunut Madetojan sali Oulussa käy esimerkiksi siitä, millaiseksi konserttisalien suunnitteluprosessi 20. vuosisadan loppupuolella oli muotoutunut ja miten se otti huomioon alan tutkimustulokset. Ohjeena oli suunnitella noin 800 kuulijan konserttisali, jossa otetaan huomioon paikkakunnalla merkityksellinen kuoroharastus. Arkkitehtisuunnittelijaksi oli valittu



Madetojan Sali Oulussa (Uki-Arkkitehdit, Arkkitehtitoimisto Alpo Halmeen kuvaarkisto).



Uki Arkkitehdit Oulusta. Pääsuunnittelijana toimi arkkitehti Matti Heikkinen, itsekin musiikin harrastaja. Heti ensimmäisten aivan alustavien luonnosten yhteydessä muokkasimme oikeiksi peruslähtökohdat, kuten salin yleisen mitoituksen ja esityslavan mitoituksen, tilavuuden ja yleisen muotokielen. Niiden perusteella tehtiin suunnitelma ja rakennettiin pienoismalli toimivuuden varmentamiseksi.

Lopputuloksessa akustiset vaatimukset ilmenevät jo salin näkyvässä hahmossa. Esityslava ja salin etuosa ovat kapeat orkesterin keskinäisen kuuluvuuden ja hyödyllisten sivuheijastusten saavuttamiseksi. Vaikka salin pohjapiirros on lievästi sektorin muotoinen, seinät on muotoiltu siten, että niistä heijastukset ohjataan tulemaan sivusuunnista. Kattopinnassa on lähes vaakasuoria osia äänen välittämiseksi kuulijoille ja poikittaisia pintoja äänen palauttamiseksi esiintyjille. Lisäksi katossa on pituusakselin suuntaisia pintoja, jotka jakavat ääntä sivusuunnassa tehostaen tasaista äänen jakautumista. Esityslavan katto on sopivalla korkeudella ja suunnattu hyvän palautteen saamiseksi esiintyjille. Poikittaisilla pinnoilla heikennetään vaskien liiallista etenemistä. Esityslava on tavanomaista syvämpi kuoroja varten, ja niiden alueella katto ohjaa tehokkaasti ääntä salin suuntaan. Sali poikkeaa klassillisesta ”kenkälaatikosta” ja on siten selvästi alalla tapahtuneen tutkimuksen tuote.

Perusratkaisultaan Madetojan salia voisi luonnehtia funktionalistiseksi. Se eroaa van-



han funkkisihanteen sileästä tilasta näkyvimmin siinä, että pinnat ovat voimakkaasti muotoiltuja. Suomalainen paksu havupuu on pääasiallinen materiaali. Kuultavassa äänessä voi olla kaikkia aallonpituuksia noin 20 metristä 20 millimetriin. Äänen heijastuminen tapahtuu sen mukaan, miten suuri heijastava pinta on suhteessa äänen aallonpituuteen. Hyvä, tasainen äänen jakautuminen edellyttää monen mittaisia pintoja. Vanhassa arkkitehtuurissa tämä syntyi koristeellisesta muotomaailmasta. Funkkis ei ymmärtänyt, että koristeellisilla muodoilla olikin akustinen ”funktio”.

## SUMMA SUMMARUM

Päätän artikkelini J. I. Packalenia mukaillen. Katson voivani väittää, että huoneakustiikan alalla ollaan 20. vuosisadan lopulla jo siksi selvällä pohjalla, että jopa musiikkisaleissa äänen laatuun kohdistuvat hienoimmatkin vivahtukset pystytään ainakin tyydyttävästi hallitsemaan.

Alpo Halme on akustiseen suunnitteluun erikoistunut arkkitehti, jonka työkenttään on kuulunut yhteensä satojen konserttisalien, teatterien, monikäyttösalien ja suurhallien suunnittelu. Lisäksi hänen toimintansa on käsittänyt ääneneristysrakenteiden kehittämisen, yleisen meluntorjunnan, LVI-laitteiden äänitekniikan suunnittelun ja vaikeiden tilojen äänentoistojärjestelmien suunnittelun. Alpo Halme toimi Teknillisen korkeakoulun arkkitehti- ja rakennusosaston akustiikan erikoisopettajana 25 vuotta. Tunnustuksena työstä akustiikan suunnittelijana, tutkijana ja opettajana Teknillinen korkeakoulu on antanut Halmeelle tekniikan kunnia-tohtorin arvon 9.9.1988.

## KIRJALLISUUS:

- SABINE, W. C. Collected papers on acoustics. Cambridge 1923.
- BRÜEL, Per V. Lydisolation og rumakustik. Chalmers tekniska högskolans handlingar 1946.
- ARNI, Paavo. Käytännöllisen akustiikan perusteet. Kustannusosakeyhtiö Otava 1949.
- BRANDT, Ove. Akustisk Planering. Viktor Pettersons Bokindustri Ab, Stockholm 1958.
- FURRER, Willi. Raum- und Bauakustik, Lärmabwehr. Birkhäuser Verlag Basel und Stuttgart 1961.
- BERANEK, Leo L. Music, Acoustics and Architecture. John Wiley & Sons, Inc. New York 1962. Kirjasta on myös uudempi laitos: Concert halls and opera houses – Music, acoustics and architecture.
- MACKENZIE, Robin. Auditorium Acoustics. Applied Science Publishers Ltd 1975.
- JORDAN, Vilhelm Lassen. Acoustical Design of Concert Halls on Theatres. Applied Science Publishers Ltd 1980.
- BOULET, Marie-Laure, MOISSINAC, Christine, SOULIGNAC, Françoise. Auditoriums. Editions du Moniteur 1990.
- BARRON, Michael. Auditorium Acoustics and Architectural Design. E & FN Spon 1993.