

Akustik og arkitektur – Et historisk strejftog

af Jan Voetmann

Få videnskaber har været omgivet af så megen mystik og mytedannelse som akustikken. Måske kan parapsykologien konkurrere med den i så henseende!

Til trods for at akustiske problemer har beskæftiget filosoffer og videnskabsmænd i de sidste 2500 år, er akustikken som videnskab meget ung. Først omkring år 1900 har man fået bragt fænomenerne ind i faste rammer og de luftige begreber på definitiv form. Dermed er man i stor udstrækning blevet i stand til at forudsige og -beregne virkningerne af givne tiltag. Akustikken er derfor i dag ikke den samme "sortekunst" som for blot 100 år siden.

Udviklingen af elektronikken har siden givet akustikerne nødvendige måletekniske værktøjer i hænde, hvorved en række subjektivt oplevede lyd-mæssige fænomener er blevet sat på "målelig" form.

Den computerbaserede måle- og analyseteknik gør det i dag muligt at gennemføre en række komplicerede og tidskrævende studier på en brøkdel af den tid, det tog for blot en generation siden. Computerens helt store force i akustikken er dens enorme regnekraft, hvilket fx betyder at akustiske teorier, som man måske har kendt i et halvt hundrede år eller mere nu pludselig kan gøres til genstand for beregninger.

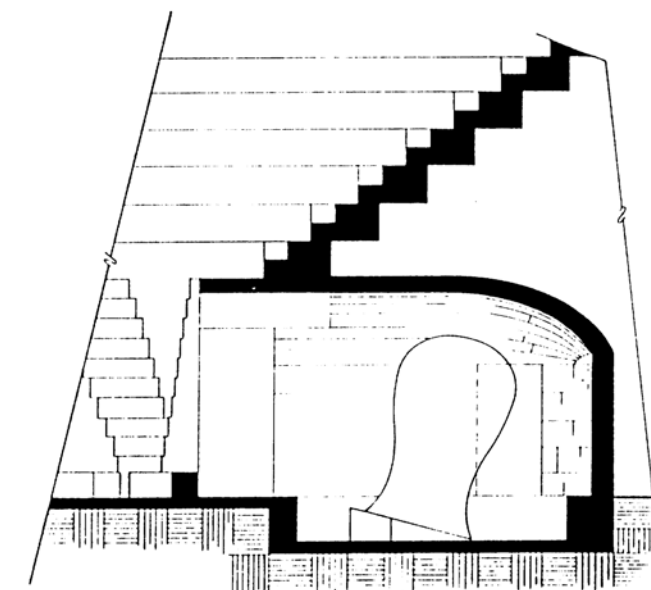
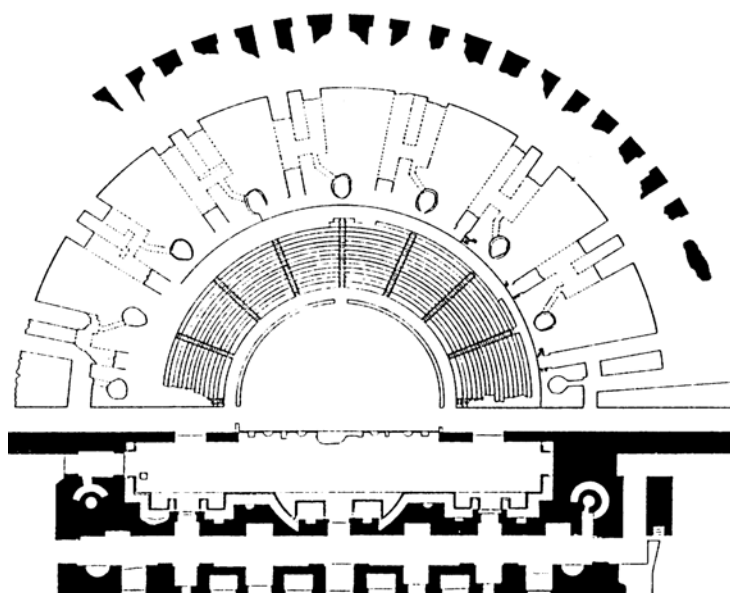
Det er derfor tankevækkende, at et af de mest fundamentale akustiske begreber, efterklangsprocessen, først for nylig har fundet sin endelige matematiske beskrivelse, og at "god" akustik stadig ikke har et objektivi-tvål.

Dette hænger naturligvis sammen med, at det, der skal afgøre, om akustikken i fx en koncertsal er god, i sidste ende er den menneskelige hørelse. Og ikke blot øret, som er mere fintmækkende end nogen eksisterende lyd-måler, men øret sammen med hjernen, hvor lydoplevelsen bearbejdes. Resultatet af denne kombination, den auditive perception, er temmelig uforudsigelig, blandt andet fordi høreindtrykket bearbejdes under indflydelse af nogle meget lidt målemæssige størrelser som stemning, følelser, opdragelse, social baggrund mv.

Blandt de mange områder, som akustikken omfatter i dag, bygningsakustik, støjbekæmpelse, elektroakustik, musikalsk akustik, lydregulering m.m., er der i det følgende valgt at give et lille indblik i det område, der på engelsk kaldes "architectural acoustics", og som på dansk bedst dækkes af de to begreber lydregulering og bygningsakustik.

Friluftsteatre

”Allerede de gamle grækere” Sådan kan næsten enhver beskrivelse af vore videnskaber indledes. Akustikken er ingen undtagelse herfra, idet flere af de kendte græske filosoffer/videnskabsmænd (dengang ofte forenet i én og samme person) har beskæftiget sig med akustiske problemer, blandt andet Pythagoras og Aristoteles. Romeren Vitruvius, arkitekt og ingeniør fra det 1. århundrede før vor tidsregning, var stærkt interesseret i det klassiske, græske teater. Han har beskrevet flere akustiske problemer, som stadigvæk er centrale.



Amfiteatret i Beth Shean.

Grækernes spekulationer udmøntede sig også i praktiske løsninger, det vidner de tilbageblevne amfiteatre om. Det er rent ud forbløffende at opleve den akustiske kvalitet af disse amfiteatre (og de senere byggede romerske, som nedstammede i lige linie fra de græske).

Flere af dem er store, også efter nutidig målestok (op til ca. 18.000 tilskuere), men det er alligevel muligt ganske tydeligt at forstå, hvad der bliver sagt på scenen, selv på de bageste pladser. Flere forhold er medvirkende hertil:

For det første er alle amfiteatre placeret i meget stilfærdige omgivelser. Med andre ord: Baggrundsstøjniveauet er lavt (og specielt **var** lavt, da teatret blev bygget), hvilket er en afgørende forudsætning for, at et friluftsteater kan fungere.

Dernæst har man udnyttet den lydreflekterende virkning dels af en stor mur bag scenen, som i de fleste tilfælde ikke eksisterer mere, dels af den stenbelagte, cirkulære plads foran scenen, kaldet *orchestra*. Herved støttes den direkte lydudstråling fra den talende, og en stor del af den samlede lydenergi nyttiggøres herved.

Et sådant amfiteater vil have en meget ”tør” akustik. En mulig klang skabes først ved mange refleksioner, som netop ikke er til stede i friluftsteatret.

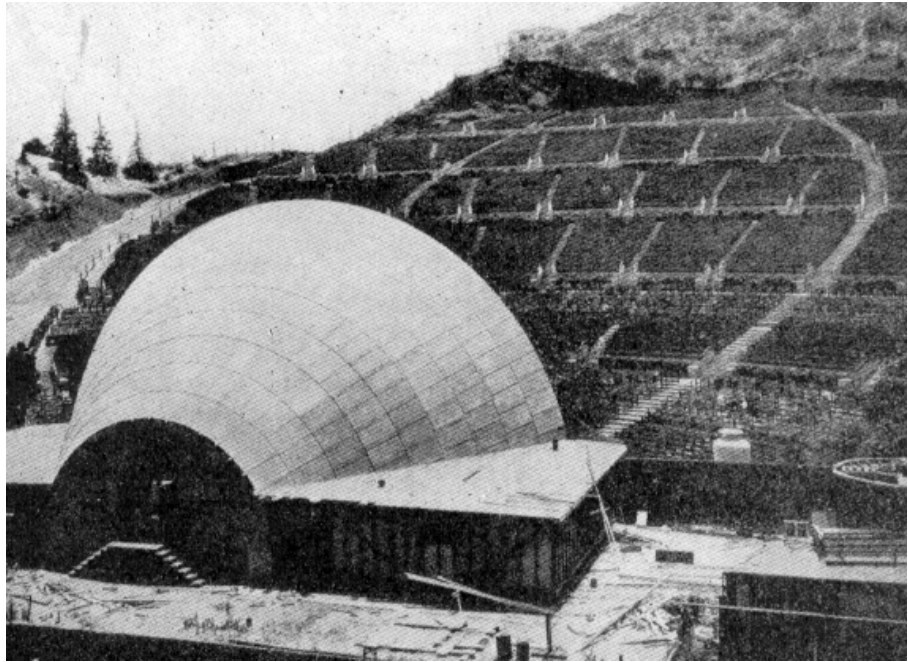
Den tørre akustik vil derfor favorisere tale, som dermed kommer til at stå helt distinkt. Den musikalske ledsagelse til de græske dramaer har så vidt vides været meget begrænset. Det berømte kor var et talekor, som kommenterede handlingen og fortalte, hvor scenen foregik. Musikken var primitiv, idet den bestod af ganske få instrumenter med begrænset toneomfang i et meget enkelt sammenspil.

Tilsyneladende har de gamle grækere dog alligevel forsøgt at bøde lidt på den tørre klang i amfiteatret. Ved de arkæologiske undersøgelser af amfiteatrene har man opdaget hulrum under tilskuerrækkerne, som sammenholdt med gamle beskrivelser fra de græske arkitekter må få os til at tro, at de har anvendt store lydkrukker anbragt i de omtalte hulrum. Sådanne krukker har den egenskab, at når de rammes af lyd, vil de optage eller absorbere en del af denne lyd, mens en del af lyden vil genudstråles fra krukkerne et øjeblik efter.

Med andre ord har man kunnet forlænge lydens hændøen og altså skabt en kunstig efterklang. Herved er der kommet mere klangfylde på den lyd, der oplevedes på tilskuerpladserne. Så vidt vides har man dog aldrig forsøgt at

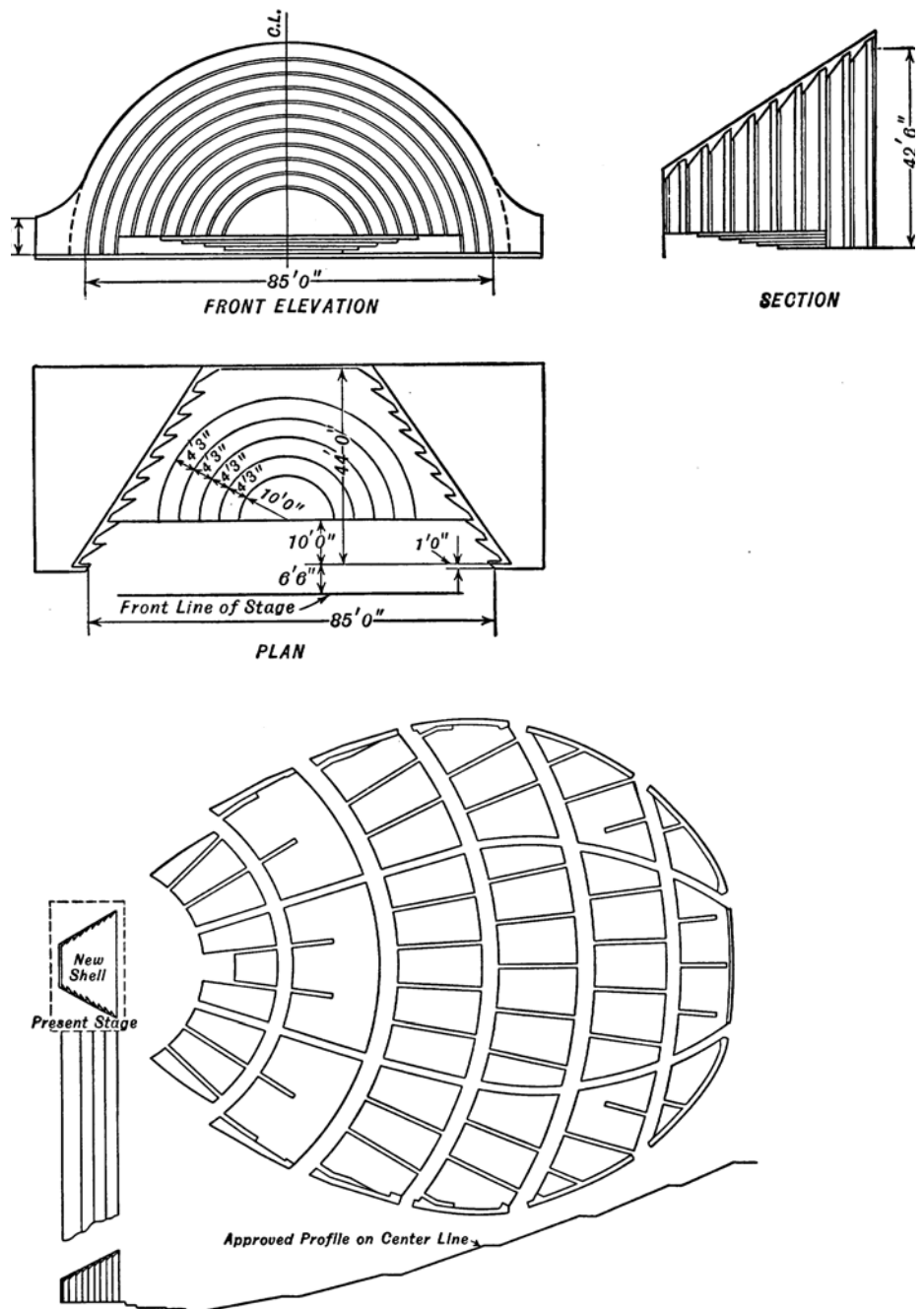
eftervise denne teori gennem virkelige forsøg.

Fænomenet omkring resonansforholdene i krukker og lignende beholdere er først blevet forklaret af fysikeren von Helmholtz.. Det var i midten af 1800-tallet, og Helmholtz-resonatorer havde altså da været kendt i mere end 2000 år.



Hollywood Bowl.

Den amfiteatraliske byggestil har været benyttet helt op i vor tid. En interessant moderne udgave finder vi i Hollywood Bowl, et stort friluftsteater (ca. 18.000 tilskuere) bygget i 1920'erne og især anvendt til koncerter (også klassiske).



Hollywood Bowl.

For at få lyden bragt effektivt ud til de fjerneste tilhørere, er scenen udformet som en kæmpemæssig parabolisk tragt, som fungerer som en megafon. Hele friluftsteatret er endvidere anbragt således i landskabet, at de omliggende bakker skærmer mod støj (specielt trafikstøj) udefra. Den meget kraftige stigning i trafikken på det nærliggende vejnet giver dog i dag betydelige støjproblemer for Hollywood Bowl.

Kirkers akustik

I over 1000 år blev det vesteuropæiske kulturliv knyttet til kirken, og musiklivet udfoldede sig inden for de rammer, som kirken afstak. Akustisk set samler interessen sig om de store katedraler, som påbegyndtes omkring år 1200, og som på grund af størrelsen samt de hårde, reflekterende murflader fik en meget lang efterklangstid. Det er altså ikke ønsket om en særlig "akustik", der har bestemt katedralernes udformning, en opfattelse man sommetider støder på.

Eftersom der til alle tider har været en nøje sammenhæng mellem musikken og de omgivelser, i hvilke musikken har udfoldet sig, finder man i katedralerne en musikform (og også dramatik), som tilpasser sig "katedralakustikken". Dvs. en forholdsvis ukompliceret form med meget lange strofer, således som den finder udtryk i den gregorianske kirkesang, hvor de enkle klange understøttes og får deres klangfylde fra den lange efterklangstid. Hertil kommer, at liturgien er baseret på den latinske messe, som ikke er beregnet på at skulle forstås af tilhørerne. Dette er i øvrigt også umuligt pga. den manglende taleforståelighed, som også hænger sammen med den lange efterklangstid. Oplevelsen bliver derfor først og fremmest et "lydmaleri", der taler til følelserne frem for intellektet. Situationen er bevaret i den katolske kirke op til vore dage.

Reformationens indførelse i midten af 1500-tallet giver blandt andet også akustiske problemer. Med et slag bliver forkyndelsen af ordet dvs prædiken det centrale i gudstjenesten. Men taleforståeligheden i samtidens kirker var som nævnt yderst ringe, og tilsyneladende har man ikke bevidst arbejdet på en akustisk forbedring af dette forhold før i vore dage. De eneste anstrengelser er - med mere eller mindre held - gjort af præsterne, idet de gennem deres diktion har forsøgt at råde bod på de akustiske vanskeligheder, de var oppe imod.

I de sidste 50 års kirkebyggeri i Norden er tendenserne gået i retning af en mindre, mere intim kirkearkitektur bl.a. med anvendelse af materialer som træ og tekstiler i kirkerummet. Alt dette har reduceret efterklangstiden så meget, at en rimelig taleforståelighed har kunnet opnås.

Desværre er man samtidig stødt ind i det problem, at kirkemusikken ikke klinger tilfredsstillende, men bliver for tør og klangløs. Dette gælder både orgelmusikken og korsangen. Man står herved med to tilsyneladende uforenelige krav til kirkerummets akustik, nemlig en kort efterklang, der fremmer taleforståeligheden i rummet, og en længere efterklang, der tilgodeser den musikalske oplevelse. Er kirken bygget med en kort efterklang, er det i praksis meget vanskeligt bagefter med kunstige (dvs. elektroniske) hjælpemidler at tilvejebringe en forlængelse af efterklangstiden.

Derimod kan man i et kirkerum med lang efterklang installere et højttalersystem med kraftig retningsvirkning og evt. med elektronisk tidsforsinkel-

se, der kan gøre taleforståeligheden helt acceptabel. Udviklingen af kirkearkitekturen går derfor nu igen i retning af en akustik, der primært tilgodeser kirkemusikken, dvs med en længere efterklang, medens den nødvendige taleforståelighed i rummet tilvejebringes med elektroniske hjælpemidler. Disse systemer har i dag nået en sådan grad af naturtrohed, at de i heldigste fald slet ikke bemærkes.

Vender vi et øjeblik tilbage til de store kirkers arkitektur, kan der iagttages en række kuriøse akustiske fænomener. På grund af deres størrelse har de givet plads til ekkofænomener, og på grund af anvendelse af hvælvede flader har man fået hviskegallerier og specielle fokuseringseffekter.

Et berømt eksempel på et hviskegalleri findes i kuplen på St. Paul's Cathedral i London. I den nedre del af kuplen findes en løbegang, og hvis man tæt på kuppelvæggen på denne løbegang frembringer en lydimpuls, et håndklap fx, vil denne impuls vandre langs væggen (i vandret plan) hele vejen rundt i kuplen.

To personer på løbegangen vil kunne føre en hviskende samtale til trods for, at de befinder sig måske 50 m fra hinanden. Dette akustiske fænomen havde optaget videnskabsmænd i århundreder, men først i 1910 kunne Lord Rayleigh give en nøjagtig matematisk beskrivelse af lydens trang til at ”krybe” langs sådanne overflader. Også Laterankirken i Rom og katedralen i Girgenti på Sicilien kan opvise hviskegallerier.

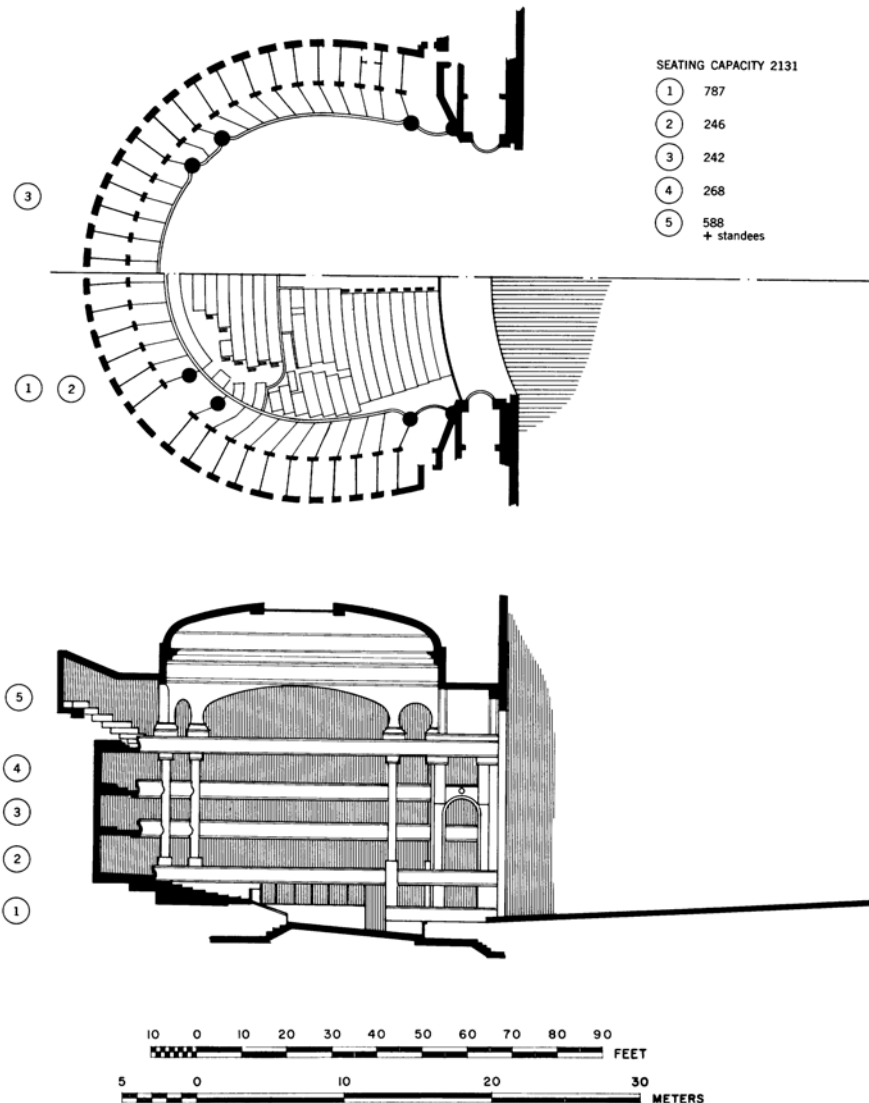
I katedralen i Girgenti er det endda så uheldigt, at skriftestolen ved et sært tilfælde var anbragt således, at man i den anden ende af rummet, mere end 80 meter væk, kunne høre hvert ord, der blev sagt i skriftestolen!

Udviklingen af musikrum

Parallelt med det til kirken knyttede musikliv udvikles i det 17. århundrede et verdsligt musikliv, der ikke som hidtil kun er ”brugsmusik” som fx dansemusik. Denne musik udfolder sig i festsale ved hoffer, saloner hos velhavere osv., men karakteristisk ikke i egentlige ”musiksale”. Kammermusik fra fx Mozarts og Beethovens hånd hører således akustisk hjemme i salonernes tørre akustik, som giver mulighed for en tæt og intim musiceren, som netop er musikkens karakter. Også operaen udvikles i denne periode, men opføres på teatre, som ikke specielt er beregnet hertil. Operahusene kommer først senere.

De første egentlige koncertsale dukker op i slutningen af det 18. århundrede, og der foreligger praktisk talt intet overleveret om de tanker, man akustisk har gjort sig i forbindelse med bygningen af disse. At der rent faktisk blev bygget endda særdeles gode ”musiksale”, må mere eller mindre skyldes tilfældigheder. Dette kan bl.a. ses hos Pariseroperaens arkitekt Charles Garnier, der omkring 1860 gjorde et grundigt forstudie for at ud-

drage de bedste af de tilgængelige erfaringer, før han gik i gang med sit byggeri.



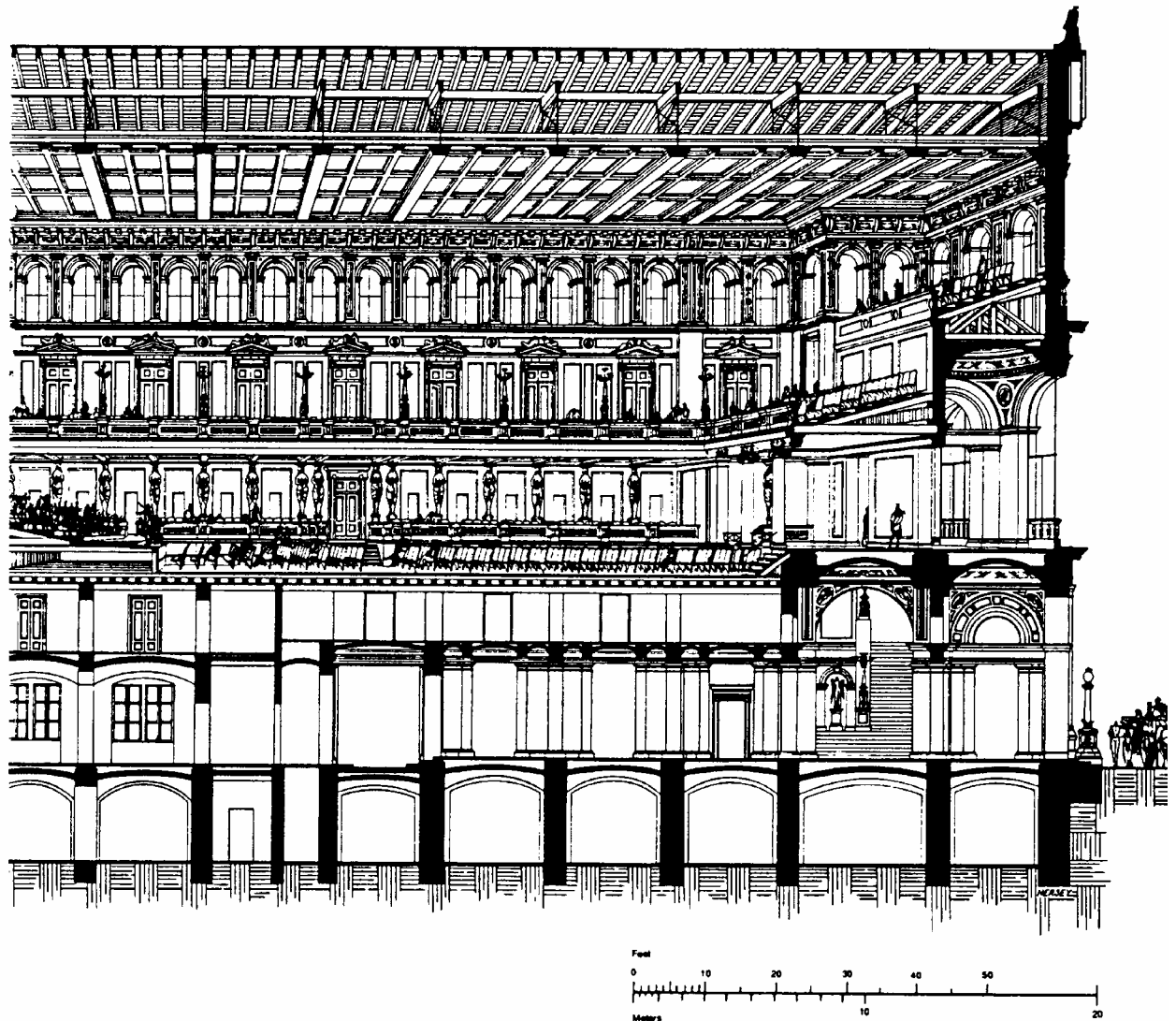
Charles Garniers Pariseropera.

Hans fortvivlelse over intet entydigt at finde kan læses af hans egen beskrivelse:

”Det er ikke min fejl, at akustikken og jeg aldrig nåede til en forståelse. Jeg har gjort mig store anstrengelser for at mestre denne bizarre videnskab, men efter 15 års møjle befandt jeg mig næsten, hvor jeg startede Jeg har læst omhyggeligt i mine bøger, konfereret flittigt med filosofferne, ingen steder fandt jeg entydige retningslinier, der kunne lede mig. I måneder har jeg studeret og undersøgt alt, og efter dette arbejde har jeg til

slut gjort følgende opdagelse: Et rum skal, for at have en god akustik, være enten langt eller bredt, højt eller lavt, af træ eller sten, rundt eller firkantet, varmt eller koldt, tomt eller fuldt af folk”.

Og hvordan blev Pariseroperaens akustik så oven på alle disse genvordigheder? Den blev glimrende!



Musikvereinsaal, Wien.

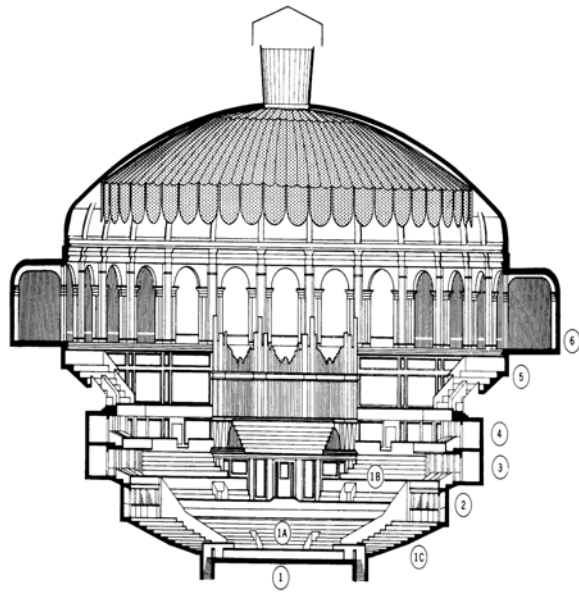
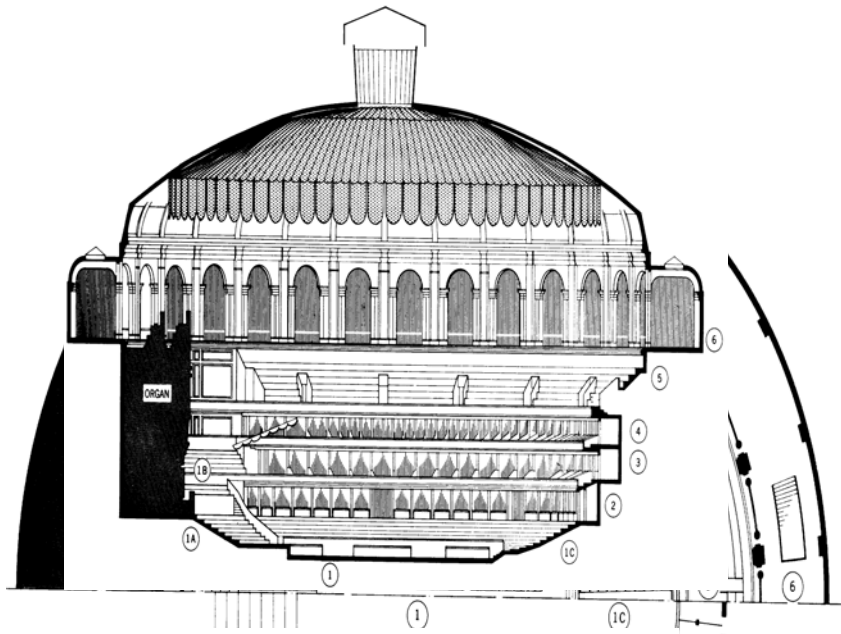
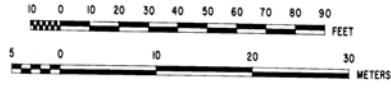
Udgangspunktet for de koncertsale, der blev opført i slutningen af 1700-tallet og begyndelsen af 1800-tallet har efter al sandsynlighed været de mindre saloner og festsale, der allerede blev anvendt til formålet.

En heldig kombination af byggestil og materialevalg har givet flere af verdens bedste sale, bl.a. Concertgebouw i Amsterdam (fra 1888), Neues Gewandhaus i Leipzig (1886-1944) og Musikvereinsaal (fra 1870) i Wien. Den lange, relativt smalle form med stor loftshøjde og udsmykning i form af stukaturer, udskårne relieffer og figurer mv.. har vist sig gunstig for både efterklangsforholdene og lydfordelingen i rummet. Odd Fellow Palæets store sal i København var et hjemligt, fint eksempel på denne type koncertsal. Desværre brændte den ned for en del år tilbage, og ejerne valgte ikke at genopbygge den.

Der blev dog til stadighed også blevet frembragt akustiske mærkværdigheder. Royal Albert Hall i London, indviet i 1871, har således en næsten elliptisk grundform og et kæmpemæssigt volumen på ca. 80.000 m³ (det er det dobbelte af Forum i København). På grund af dens form og størrelse får man vanskeligheder med at få orkesterlyden ud på tilhørerpladserne, og ikke mindst har salen et tydeligt ekko.

SEATING CAPACITY 5080

- ① 717
- ①A 419
- ①B 479
- ①C 1266
- ② 140
- ③ 244
- ④ 180
- ⑤ 1635
- ⑥ 1000 standees



Royal Albert Hall.

Nyere tendenser

Ved nyere koncertsalsbyggerier har man i udstrakt grad baseret sig på erfaringerne fra de kendte, gode koncertsale, dog ofte med skiftende held.

En moderne funktionalistisk byggestil, som den blev udviklet i første tredjedel af 1900-tallet, med strenge enkle former, glatte flader og materialer som beton, glas og stål, har vanskeligt kunne forenes med "god" akustik. Sådanne rum viser udpræget tendens til ekkodannelse, specielt et hurtigt repeterende impulsekko, der kan være stærkt generende. Det kan virke som en metallisk klirren, der farver lyden og fremkaldes af enkelte, kortvarige impulser som håndklap, trommeslag osv. Fænomenet kaldet "flutter-ekko" høres ikke ved langsomt varierende toner.

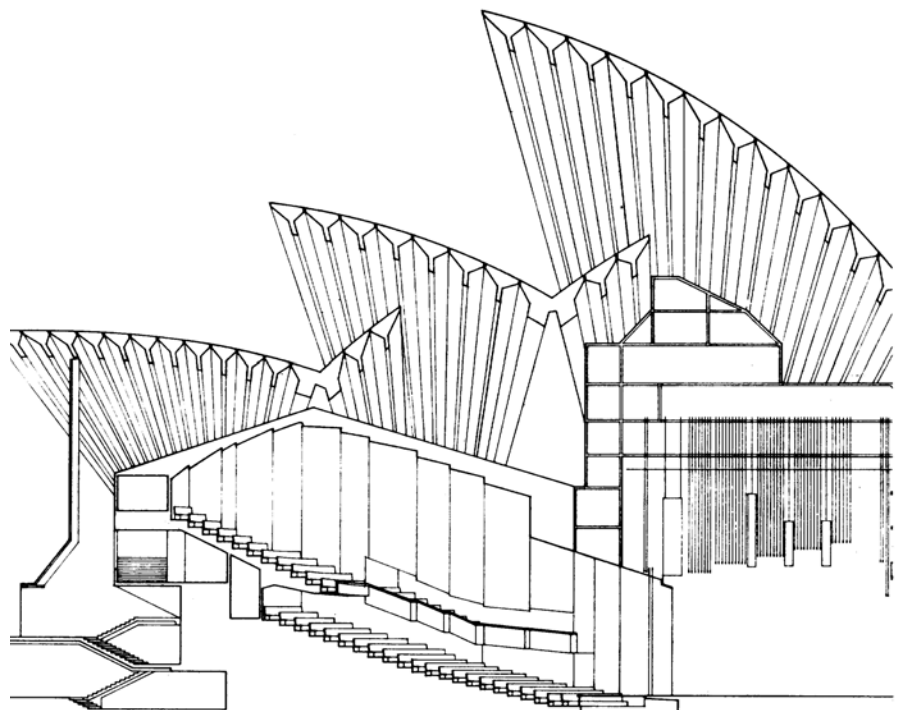
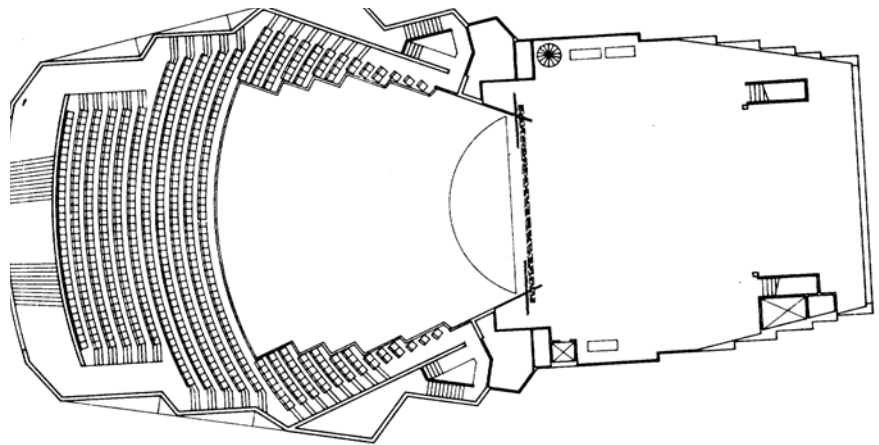
Den funktionalistiske byggestil er stadig almindelig, fx i forbindelse med skoleaulaer, auditorier og idrætshaller. Derimod har udviklingen af koncertsalens rumform i dette århundrede haft tendens bort fra den rektangulære form hen imod nye former, ofte teaterlignende.

Et af den nyere tids interessanteste musikhus er uden tvivl Jørn Utzons Sydney Opera, som stod færdig i 1973. Betegnelsen operahus er egentlig lidt misvisende, idet huset, selv om det indeholder et operateater, i lige så høj grad er koncerthus og hjemsted for Sydney Symphony Orchestra. Således blev den oprindelige plan for de to hovedsale ændret, hvorved den store sal blev koncertsal og den mindre operateater.

Den kendte udvendige skalkonstruktion blev af arkitekten oprindeligt valgt ud fra formodningen om, at det også var en akustisk heldig form. Dette er en misforståelse, og skalkonstruktionen udgør kun de ydre rammer og er ikke videreført i salenes indre. Her har man arbejdet med en helt uafhængig udformning efter akustiske principper.

Til fastlæggelse af rumformen er anvendt modelteknik, dvs. der opbygges en skalamodel (1:10) af salen. Ved akustiske målinger i modellen får man et billede af, hvorledes den virkelige sal til sin tid vil opføre sig. Og der kan opnås forbløffende overensstemmelse mellem resultater opnået i modellen og i fuld skala. Også de lydspredende, ringformede elementer, der i koncertsalen er ophængt over orkestret, er først undersøgt i model.

Koncertsalen er ikke beregnet til moderne underholdningskoncerter, TV-shows, rockkoncerters ekstremt høje lydniveau etc. Det er tværtimod fra akustikerens side stærkt anbefalet at begrænse sidstnævntes udfoldelser til et minimum. Koncertsalsakustik er normalt ikke forenelig med elektrisk forstærket musik, men det er sjældent det så tydeligt bliver fremført.



Jørn Utzons Sydney Opera.

Dagens problemer

De problemer, som akustikeren i dag står over for, er netop knyttet til det forhold, at de store sale ønskes anvendt til mange forskellige formål. Byggherren forlanger af hensyn til økonomien, at salen skal være lige velegnet til symfoniske koncerter, teater, kongresser, opera, rockkoncerter osv. Dette er - akustisk set - helt modstridende krav.

Ganske vist er det muligt at bygge sale, hvor der kan ændres på efterklangstiden, enten med bygningstekniske eller elektroniske hjælpemidler. Herved kan man justere akustikken til det aktuelle formål; men man

må nok erkende, at i de tilfælde, hvor man har forsøgt sig med en sådan løsning, har man som regel ikke opnået så gode resultater. Enten udnyttes justeringsmulighederne ikke, og salen ender derfor med en fast indjustering i en art "mellemstilling". Eller også har salen alligevel vist sig at være bedst egnet til bestemte anvendelser.

Der etableres dog stadig sådanne "multifunktionssale", hvor akustikken justeres med elektroniske midler, som både lægger klang på når de er nødvendigt og kan tilføje tidlige refleksioner, hvis det er påkrævet. Igen betyder computerteknikken større regnekraft, så "klangmaskinerne" lyder mere naturligt.

Computere har i akustikken en særlig interessant anvendelse, nemlig som simuleringsværktøj. I computeren "tegnes" den aktuelle sal op, og ved hjælp af strålegangs- og spejlbilledemodeller kan lydfordelingen i rummet kortlægges. Som al anden modelteknik er metodens pålidelighed dog afhængig af, hvor godt modellen ligner virkeligheden, og en del af fysikken omkring lydens opførsel, specielt omkring lydspredning omkring genstande i rummet samt lydabsorptionens afhængighed af lydens indfaldsvinkel, er endnu ikke tilstrækkeligt klarlagt.

Den seneste udvidelse af disse computermodellerne (stadigvæk med de ovennævnte begrænsninger) er auralisation. Auralisering vil sige, at man på grundlag af den model af salen, som man har liggende i computeren kan høre hvordan salen til sin tid kommer til at lyde. Man kan således afspille et musikstykke optaget i et lyddødt rum (sådanne optagelser findes) igennem computeren, som simulerer, hvorledes musikken vil komme til at lyde i det rum, som altså kun eksisterer virtuelt.

Rumakustikken hviler i dag på et så solidt grundlag, at det er muligt i stor udstrækning at forudberegne virkningen af de materialer og udformninger, som der arbejdes med. Samtidig har akustikeren særdeles avanceret måle- og simuleringsværktøj til sin rådighed. Det færdige resultat er dog stadig underlagt den subjektive bedømmelse, hvilket gør akustikken til det fascinerende grænseområde mellem kunst og videnskab.