



KTH Tal, musik och hörsel

Audioteknik i praktiken

Ett urval artiklar, skrivna av kursdeltagarna
i 2F1410 Audioteknik, 2002-2004

Avd. för Tal, musik och hörsel
Skolan för Datavetenskap och kommunikation
KTH

Innehåll

1.	LJUDANLÄGGNINGAR I BIOGRAFER.....	1-1
2.	LJUDANLÄGGNINGAR PÅ RADIOSTATIONER.....	2-1
3.	AUDIO SYSTEMS FOR CARS	3-1
4.	LJUDET I GLOBEN	4-1
5.	LJUDET PÅ COSMONOVA	5-1
6.	THE SOUND AT DRAMATEN	6-1
7.	LJUDARKIVERING	7-1
8.	AKUSTISK VIRTUAL REALITY	8-1
9.	WAVE FIELD SYNTHESIS.....	9-1
10.	TEST AV OLIKA MIKROFONPLACERINGAR.....	10-1

Förord

Audioteknik är ett område som utvecklas snabbt, och det finns inga läroböcker som täcker det nyaste, det lokala eller det specialiserade. Den här artikelsamlingen avser därför att komplettera våra kursböcker i Audioteknik, John Watkinsons *Introduction to Digital Audio* (2002) och *Art of Sound Reproduction* (1998).

Artiklarna kom till genom att kursen delades in i grupper om tre personer; varje grupp fick välja ett ämne och hade sedan fria händer att skriva artikeln. Detta är ett urval av sådana artiklar från kursen som jag har bedömt vara av mer allmänt intresse; många andra var också bra om än smala i sitt ämnesval. Författarna står själva för utformningen, medan jag har redigerat och språkgranskat i ringa omfattning. Resultatet är en exposé som lyfter fram tillämpningar av ljudteknik ur deras nischer och belyser hur olika de kan vara.

Ett varmt tack till alla er på fältet och i branschen som hjälpte oss att skriva dessa artiklar! Vi har fått intressanta inblickar på olika audiotekniska områden, och har fått träffa många kunniga yrkesmänniskor för vilka ljudet spelar en central roll. Vi hoppas att artiklarna i denna bok ska öka läsarens intresse för ämnet!

Sten Ternström

kursledare och redaktör

Hösten 2005

1. Ljudanläggningar i biografier

Johan Aglert, Emil Jankovic, Fredrik Magnusson, 2002

Ljudet till en film har alltid varit en viktig ingrediens för filmskaparen att förmedla den rätta känslan. På den tiden då man var oförmögen att sätta ljud på filmen så hade man pianister och inte allt för sällan hela orkestrar som spelade live till biofilmen för att det skulle bli en större upplevelse för publiken. Ljudet har sedan dess upplevt en stor förändring, idag skulle det nästan vara otänkbart att se en biofilm utan flerkanaligt ljud.

1.1 Inledning

Det flerkanaliga ljudet har gjort att ljudupplevelsen nästan är lika stor som bildupplevelsen och att ljudet får mycket större uppmärksamhet av åskådarna. Man skulle kunna tänka sig att man i framtiden skulle kunna välja salong efter vilket ljudsystem som salongen använder på samma sätt som man idag kan föredra vissa salonger på grund av deras skärmstorlek och bekväma stolar. Redan idag så skyltar ju biograferna om att de har THX-standard på ljudet. Det är väl få läsare som inte känner igen symbolen i figur 1.



Figur 1: Den välkända logotypen för Tomlinson Holman Experiment (THX).

Med denna artikel hoppas vi kunna ge läsaren en god inblick i vad det innebär med biografiljud.

1.2 Historia

När filmen skapades fanns inte någon teknologi för att sätta ljud till bilderna. De första ljudanläggningarna för biograferna kom i princip samtidigt som filmerna började projiceras på stor duk år 1895 och bestod av en grammofon eller en fonograf mekaniskt kopplade till projektorn. Thomas Alva Edisons uppfinning fonografen var den första maskinen som kunde spela upp inspelat ljud. Den mekaniska kopplingen mellan projektorn och ljudkälla var inte så förfinad vilket gjorde att maskinisten under hela föreställningen manuellt fick justera synkroniseringen mellan bild och ljud med hjälp av remmar och bromsskivor. Runt 1910-talet när den elektriska ljudförstärkningen utvecklades kunde man börja ha ljudkällan nära projektorn istället för nära åskådarna vilket gjorde problemet med synkronisering lättare. Ljudupplevelsen från denna lösning var långt ifrån bra.

I slutet av 1910-talet kom en ny era i bioljudets historia i och med att man började ljudsätta filmerna med hjälp av en orkester eller *Theatre Organ*, ett av världens mest komplicerade instrument. Orgeln gav "flerkanaligt stereoljud" genom orgelpipverk på olika ställen i biografen, och kunde bland annat härma levande orkestrars musik och skapa naturtrogna ljud effekter. Biograforgeln trängdes så småningom ut av ljudfilmen, men det finns ännu många orglar i bruk i England och USA.

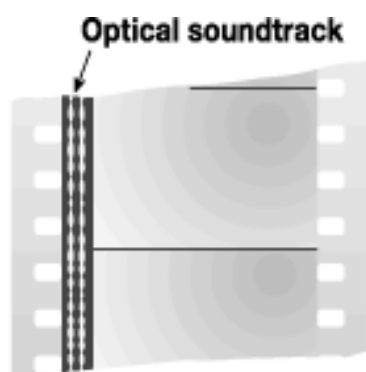
År 1926 lanserades det system som definitivt gjorde att ljudfilmen blev så populär. System hette Vitaphone och fick sitt stora genombrott i och med Al Jolsons film "Jazz Singer". Detta system var liksom de tidigare baserat på en grammofon som kopplats till projektorn, men nu var ljudet faktiskt mycket bra. Systemet var dock mycket opraktiskt med skivor som behöver bytas under föreställningarna och som snabbt blev slitna under den dåtidens tunga pickuper. Runt 1931-32 övergavs detta system till förmån för det optiskt lagrade ljudet som än idag finns kvar på filmremsorna.

1.3 Dagens bioljud

Den slitna frasen "den digitala revolutionen" är verkligen inte tomma ord när det gäller bioljud. Det digitala formatet på ljud har verkligen inneburit en enorm förbättring vad gällande ljudupplevelsen i biografsalongerna. Eftersom det digitalt lagrade ljudet har rönt sådana stora framgångar så kan man tro att det analoga borde försvinna inom en snar framtid, men som det i alla fall är idag så fyller det en viktig funktion.

1.3.1 Analogt ljud

Det analoga ljudet på 35mm filmen har i princip representerats på samma sätt sedan det introducerades av filmbolaget Fox år 1926. Fox använde det i huvudsak till sina journalfilmer som man spelade in vid den här tiden. Spåren representeras av öppningar som släpper igenom olika mycket ljus när de belyses. Bakom spåren finns det en ljuskänslig mikrofon som omvandlar ljuset till ljud. Det analoga ljudet finns på filmremsan enligt figur 2.



Figur 2: Den optiska representationen av ljud som finns på filmremsan.

I ljudfilmens barndom fanns det bara ett monospår lagrat på filmremsan och när man sedan införde stereoljudet så var man tvungen att placera två spår där det tidigare bara funnits ett. Detta gjorde att man tappade lite i upplösning för stereospåret.

Avläsningen sker med en tonläsare (från Tyskans ord för ljud) som i förr var en ljuskänslig diod, men sedan Dolby SR blev en de facto standard för analogt ljud är det två solceller. Figur 3 visar en läsare modifierad med de senaste förbättringarna.



Figur 3: Philips makro-tonhuvud "Symfoni" här i DP70 projektorns inbyggda variant. Ombyggd till röd LED istället för vanlig tonlampa. Riviera (SF), Stockholm feb 2001. Bild och text Martin Voss-Shrader

Det optiska mönstret är ju självklart även känsligt för repor på remsan. Om filmremsan får minsta lilla repa så kommer detta att påverka ljudet vilket gör att det analoga ljudet med tiden blir sämre och sämre. Om en viss filmkopia har visats många gånger så kommer ljudet att lida en avsevärd försämring.

Trots att det digitala ljudet har gjort ett så starkt intåg i filmbranschen så finns det analoga ljudet kvar på filmremsan som en backup om det digitala ljudet skulle sluta fungera. Även om det analoga ljudet är av sämre kvalitet så är det ju i alla fall att föredra att se klart en film med vanligt analogt stereoljud istället för total tystnad. Det analoga ljudet kommer därför förmodligen att finnas kvar så länge som man använder sig av 35mm filmen.

1.3.2 *Dolby SR*

Det analoga ljudet som idag finns på filmerna är av typen Dolby Spectral Recording (SR). Dolby SR är en teknik som gör att man kan avkoda de två optiska kanalerna till fyra stycken; vänster, höger, center och surround. Dolby SR är en vidareutveckling av systemet som heter Dolby Surround och har förfinats så att ljudet får större dynamik, lägre distorsion och bättre återgivning av transienter.

1.4 Digitalt ljud

Det digitalt lagrade ljudet har blivit det helt dominerande sättet att förmedla film ljudet till biobesökarna. Det finns oerhört många fördelar med det digitala ljudet jämfört med det analoga. Det digitala ljudet är i princip brusfritt vilket gör att det är mycket behagligt att lyssna till. När ljudet lagras digitalt så blir det inte heller lika känsligt för repor och felaktigheter på själva filmremsan, något som gör att ljudet förmodligen kommer att vara intakt efter att filmen lagrats under en lång tid.

1.5 Olika ljudformat

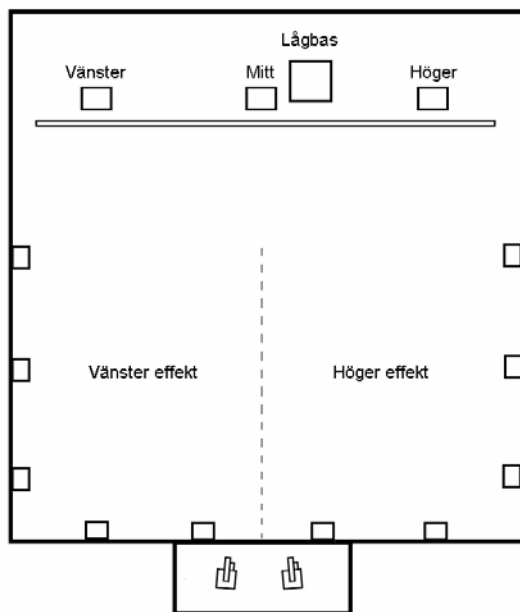
I och med införandet av digitalt lagrat ljud i biografalongerna så har det kommit flera olika ljudformat. I dagsläget är det i huvudsak tre olika format som konkurrerar på den digitala marknaden. Det är Dolby SR-D, Digital Theater Systems (DTS) och Sony Dynamic Digital Sound (SDDS). Dolby SR-D och DTS är ungefär lika gamla och det senaste tillskottet är alltså SDDS vilket gör att det således är det mest avancerade. De tre systemen är trots att de alla är flerkanaliga och digitala på intet sätt kompatibla med varandra. De har helt olika avkodare och sätt att lagra ljudet. Både Dolby SR-D och SDDS består dessutom av perceptuellt kodat ljud på själva filmremsan medan DTS med sin lösning på lagringen endast har placerat styr signaler där.

1.5.1 *Dolby SR-D*

Dolby SR-D är det system som i dagligt tal brukar kallas för Dolby Digital. Systemet var det första digitala systemet som började användas i biosalonger. Det introducerades 1991 och använder sig av så kallat 5.1-kanaligt ljud, som betyder att man använder sig av en så kallad subwoofer för låga frekvenser och sedan 5 olika kanaler för att bilda en rums känsla. Högtalarna i biosalongen brukar vara utplacerade enligt figur 4.

Eftersom örat har svårare att avgöra var lågfrekventa ljud kommer ifrån så är inte placeringen av subwoofern lika viktig som för de andra högtalarna.

Dolby SR-D är kodat med en så kallad perceptuell bitreduktion som kallas för AC-3 (Audio Coding 3). Perceptuell bitreduktion innebär att man komprimerar ljudet mer vid de frekvensområden där örat är mindre känsligt.



Figur 4: Högtalarplacering för 5.1-kanals-ljud.



Figur 5: Dolby SR-D kodningen är placerad mellan perforeringarna på filmremsan.

I figur 5 kan man se hur ljudet är lagrat som små vita och svarta prickar i en ruta som rymmer 78x78 pixlar med information. Rutan är placerad mellan perforeringarna på 35 mm filmremsan.

Dolby har även gjort en vidareutveckling av systemet. Detta system kallas för Dolby Digital EX och är utrustat med en sjätte kanal som är placerad bakom åhörarna. EX introducerades i och med George Lucas film Star Wars episode II, *The Phantom Menace*.

1.5.2 Digital Theater Systems

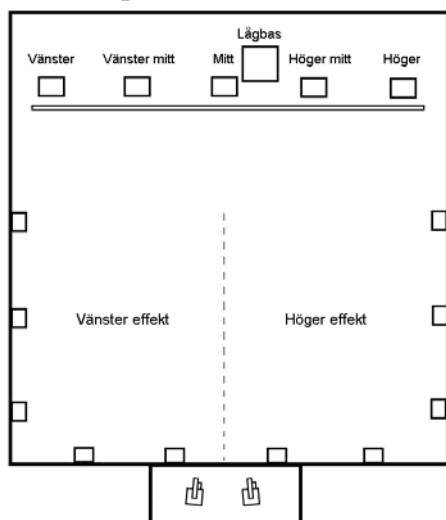
År 1993 introducerades ett konkurrerande ljudsystem från Digital Theater Systems (DTS), i och med premiären av Steven Spielbergs film Jurassic Park. DTS använder sig liksom Dolby Digital av 5.1-kanaligt ljud. Den största skillnaden mellan dem är att DTS inte lagrar någon musik på själva filmremsan utan har ljudet på CD-ROM skivor. Skivorna laddas i en DTS-avkodare (figur 6).

På filmremsan finns, istället för ljudet, styr signaler som gör så att skivorna med ljudet och bilden hela tiden är synkroniserade. Styrsignalerna är placerade mellan bildrutorna och det analoga ljudet. Det finns en del fördelar med att ha ljudet på separata skivor, dels behöver ljudet inte vara lika hårt komprimerat och dels blir det något billigare med den lösningen.



Figur 6: En avkodare för DTS, med CD-slädarna till höger.

1.5.3 Sony Dynamic Digital Sound



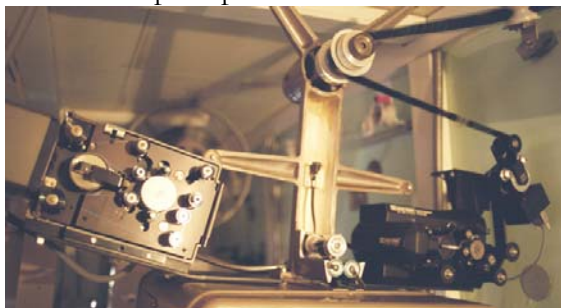
Figur 7: Högtalaruppställning för 7.1-kanaligt biograf ljud.

När signalerna skall läsas av, ansluts en avläsare till den slinga som filmen tar igenom projektorn. Eftersom det kommer att bli en fördröjning mellan det att bildrutan passerar optiken och att samma ruta går igenom avläsaren så måste man kompensera för detta. Avläsaren är sedan kopplad till en avkodare som i sin tur kan kopplas samman med en dator. Avläsaren och avkodaren kan ses i figur 9.

I datorn kan man kontrollera ljudkurvor och lagra inställningar för varje salong och film.

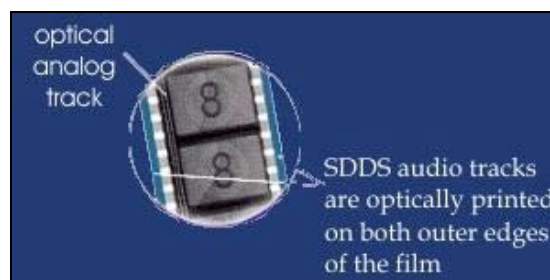
SDDS är det mest avancerade systemet som används till kommersiell bio idag. Om alla åtta kanalerna utnyttjas och är mixade på ett bra sätt så ger systemet en storartad ljudupplevelse.

SDDS använder sig av en komprimeringsalgoritm som heter ATRAC och är utvecklad av Sony. ATRAC liknar den komprimering som används på MiniDisc. Liksom Dolby SR-D's AC-3 använder sig ATRAC av så kallad perceptuell bitreduktion.



När detta skrivs är det senaste digitala formatet som används på biosalonger Sony Dynamic Digital Sound (SDDS). SDDS introducerades 1994 och är det mest omfattande systemet av dem som i allmänhet finns på dagens salonger. Systemet har möjlighet att utnyttja hela åtta kanaler. Den högtalaruppställning som SDDS använder sig av kallas för 7.1. Högtalarna är placerade enligt figur 7.

Eftersom SDDS var ett senare ljudsystem så fanns det inte så mycket plats kvar på 35-mm-filmen, vilket gjorde att man valde att placera ljudspåren på vardera yttersidan av filmens perforeringar. Denna yta är trots allt förhållandevis stor vilket gör att man får plats med en ansevärd mängd data där.



Figur 8: Placeringen av SDDS-kodningen på en 35mm filmremsa. Figur 9: Visar en SDDS-avläsare och -avkodare.



Figur 10: Philips DP70 projektor med monterade läsare för de tre digitalljudsystemen. Till vänster SDDS, till höger SR-D och DTS (laddad). Man måste här välja vilket system som skall köras och ladda filmen rätt väg, annars blir det inte synk. FS Sergel 1 (SF), Stockholm feb 2001. Bild och text: Martin Voss-Shrader.

1.5.4 THX

Ett vanligt missförstånd är att THX är ett ljudsystem likt Dolby SR-D, DTS och SDDS. Egentligen är THX en standardisering som ett av George Lucas' bolag har uppfunnit, som ett led i att förbättra USA:s biografbestånd. THX är uppkallat efter en ingenjör hos George Lucas vid namn Tomlinson Holman, vilket gav namnet **T**omlinson **H**olman **eX**periment. Systemet ställer stora krav på biografen, inte bara på ljudet utan även på bilden. Det finns en hel del krav som en THX-klassad salong skall uppfylla, men i korta ordalag kan man säga att man i perfekt anpassade biografsalonger sätter in det bästa ljudåtergivningssystemet som finns att få, vilket bland annat inkluderar Dolbys ljudsystem. Årliga kontroller från THX garanterar kvaliteten. De hårda kraven som sätts gör att THX-kvaliteten är väldigt svår att uppnå i gamla salonger och är därför någonting som främst kan uppfyllas vid nybyggnation.

1.6 Akustik i salongen

Akustikkraven i en sal varierar kraftigt beroende på om salen ska vara anpassad för tal eller musik. I en biosalong önskar man sig kraven för en talsalong.

En biobesökare kommer perceptuellt att utsättas för både direkt och indirekt ljud. Det direkta ljudet kommer direkt från högtalarna medan det indirekta representeras av reflektioner i godtycklig riktning. För att kontrollera hur det står till med dessa reflektioner i en sal kan efterklangstiden mätas. Definitionen på efterklangstiden är den tid det tar för ett ljud att avta 60 dB, efter det att ljudkällan stängts av.

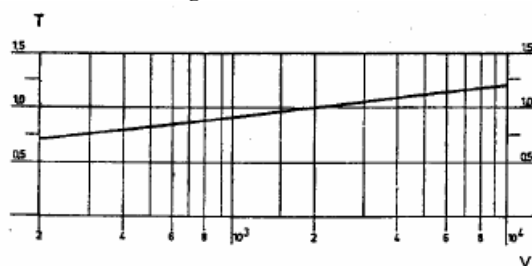
$$T = 0.16 \frac{V}{A}$$

där T = efterklangstiden

V = salens volym

A = ekvivalenta absorptionsarean

Genom perceptuella tester i en biosalong har man kommit fram till ett optimalt samband mellan efterklangstiden för medelfrekvenser och salens volym.



Figur 11: Ett linjärt optimalt samband mellan efterklangstid och salongsvolym.

Då efterklangstiden ger ett mycket lägre värde än grafen uppfattas ljudet i salen som torrt. När det å andra sidan ger ett mycket högre värde kommer ljuden i för stor utsträckning att överlappa varandra, det blir grötigt och vissa detaljer i ljudet kommer inte att uppfattas som det var tänkt.

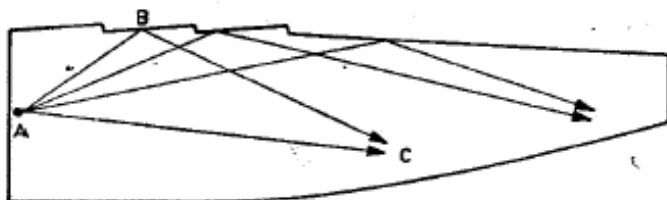
Då man vill ändra efterklangstiden bör man tänka på:

- Salens utformningen och dimensioner.
- Reflektion- och absorptionsförmåga i materialen som finns i salen.
- Var materialen är placerade i salen.

1.6.1 Salongens utformning

Örat har förmågan att uppfatta alla ljud inom 0,05 sekunder som en enda perception. Detta gör att reflekterat ljud som anländer örat inom upp till 0,05 s kommer att förstärka upplevelsen av det direkta ljudet.

Biobesökarna som fått nitlotten att sitta långt bak i salongen, kommer givetvis att uppleva en dämpning av det direkta ljudet. För att kompensera för denna dämpning så utformas biosalonger så att reflektionerna styrs bakåt i salongen, för att ge en förstärkning av det direkta ljudet. Salongens tak och väggar kan vinklas för att åstadkomma detta.



Figur 12: Taket har utformats så att reflektionerna från ljudkällan A letar sig långt bak i salongen för att där förstärka det direkta ljudet.

Viktigt här är att sträckan $AB + BC - AC \leq 17m$ (vilket motsvarar tidsskillnaden 50 ms, ljudhastigheten är ungefär 340 m/s vid rumstemperatur). Ljud som anländer efter mer än 50 ms kommer att uppfattas som ett eko, vilka måste dämpas så mycket som möjligt. Möjliga orsaker till eko är ett högt tak eller en avlägsen vägg. Ekot förstärks också då taket och/eller väggarna är konkava (enligt samma princip då ljus koncentreras av en konkav spegel). För att dämpa oönskade reflektioner kan väggar, tak och golv kläs med absorberande material.

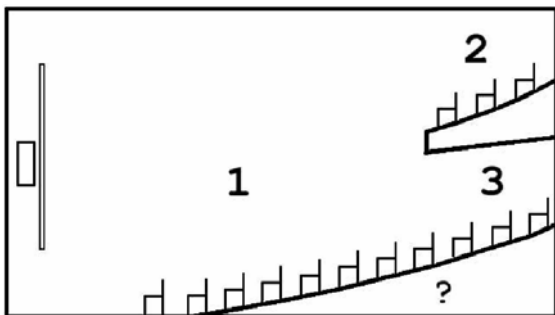
Alla salonger har ett stort antal resonansfrekvenser. Om salongen är dåligt utformad kommer vissa av dessa frekvenser att dominera ljudåtergivningen. För att undvika detta vill man att resonansfrekvenserna ska vara likformigt fördelade över hela frekvensbandet. En akustisk ideal salong har oändligt många resonansfrekvenser med samma intensitet. Givetvis kan det ideala fallet inte implementeras i verkligheten, men man kan komma undan problemet på ett bra sätt genom att bryta väggarna och ge en oregelbunden utformning av salongen.

Sammanfattningsvis några viktiga tumregler att tänka på vid utformning av en biosalong:

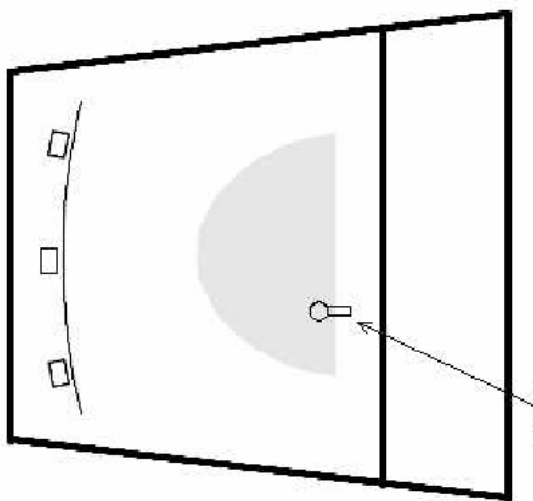
- Salongens längd, bredd och höjd inte är kritiska. "Låd"-utformning bör undvikas.
- Salongen bör vara max 35 m lång. Längd under eventuell balkong bör vara max 2.5 gånger avståndet mellan salongens golv och balkongens undersida.
- Volymen bör vara 3-5 m^3 per person för såväl små som stora salonger.
- Undvik parallella väggar och konkava väggar och tak.
- Utforma väggar och tak så att "nyttiga" reflektioner (inom 0.05 s efter det direkta ljudet) slussas mot salongens bakre del.
- Stolarna skall ha mycket stoppning för att den totala absorptionen inte skall förändras med åskådarantalet.

1.6.2 Var är det bäst ljud?

Genom lyssnartester har man kommit fram till en rangordning, perceptuellt sett, för en typisk biosalong. Bästa ljudet upplever man ett par bänkrader framför balkongkanten. Näst bästa på de främre balkongbänkarna och sämsta baktill under balkongen.



Figur 13: 1. Parketten framför balkongen. 2. Ovanpå balkongen. 3. Under balkongen.



Figur 14: Bästa ljudupplevelsen i det skuggade området. Mikrofonen är därför placerad här vid trimning av anläggningen.

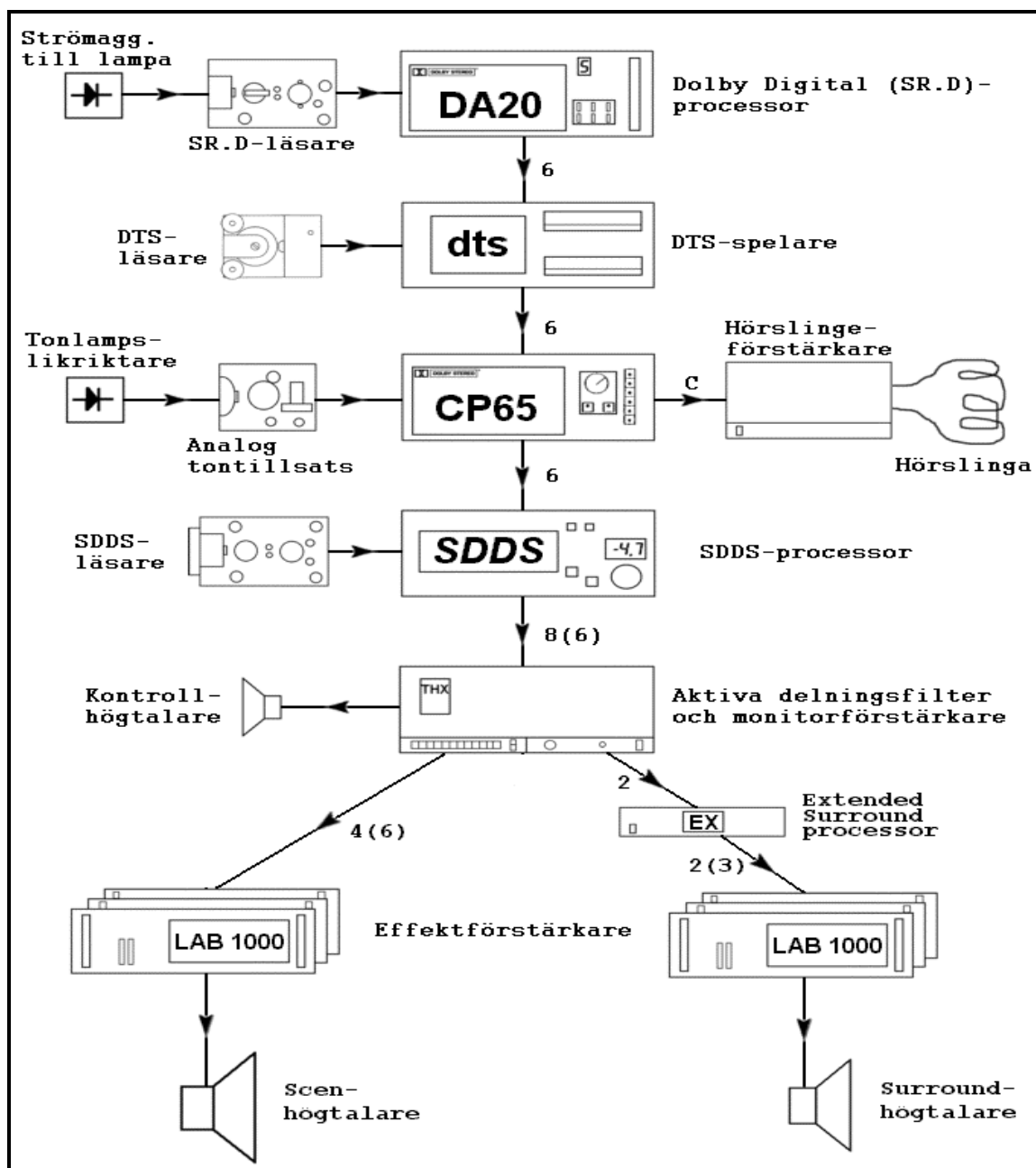
1.7 Ljudanläggningar

De salonger som byggs i Sverige idag är alltid utrustade med analogt system (Dolby SR) samt minst 1 digitalt system. Om det rör sig om en biograf med flera salonger och maskinrummen är utrustade med endast ett digitalt system, finns oftast ett flyttbart rack med processor till minst ett system till, oftast Dolby SR-D. Efter en överslagsräkning baserad på uppgifter från de olika biografkedjorna är det vanligast förekommande systemet DTS. Det finns installerat i de flesta salonger som har digitalt ljud. Dolby SR-D har hälften så många installationer följt av SDDS som finns i ett fåtal (10-20) salonger i Sverige. I de flesta fall verkar inte SDDS-systemen vara helt utbyggda, dvs. höger och vänster center saknas i salongen. Detta pga de investeringar som behöver göras utöver de 6 kanaler som SR-D och DTS kräver. Då många av filmerna som visas också saknar den fulla SDDS-mixen så är det än så länge ingen förlust. I fig. 15 ges en principskiss av en fullt utbyggd anläggning.

Den centrala delen är alltid en processor för det analoga ljudet, i det här fallet Dolby CP65. Den står i förbindelse med övriga delar i systemet och kan förmedla signaler dit de skall. En av anledningarna till att den är central är att det analoga ljudet alltid står redo och hoppa in om det digitala skulle sluta att fungera. Många filmkopior distribueras med endast analogt ljud varför det är extra viktigt att den analoga avläsningen fungerar felfritt i alla

lägen. Installation och injustering av avläsaren med tillhörande förstärkare kan ta upp till en dag pga. de små feltoleranserna.

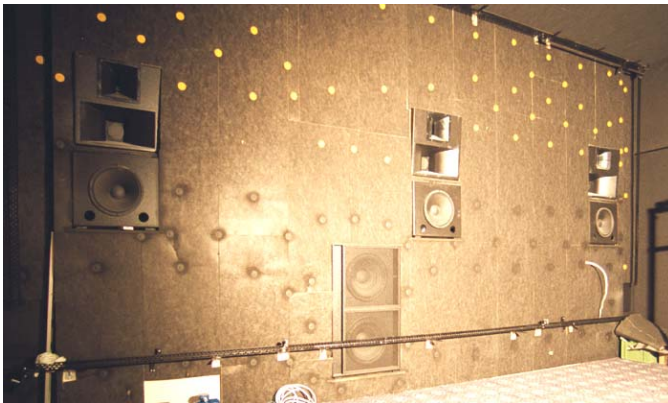
I de fall salongen är THX-certifierad sitter det ett aktivt delningsfilter från THX innan slutstegen. Då THX inte är vana vid att utforma och tillverka hårdvara är det ofta fel på filtret vilket medför ökade underhållskostnader.



Figur 15: Principschema för fullständig ljudanläggning (Filmstaden Sergel 1, Stockholm). Bild och text Martin Voss-Sbrader

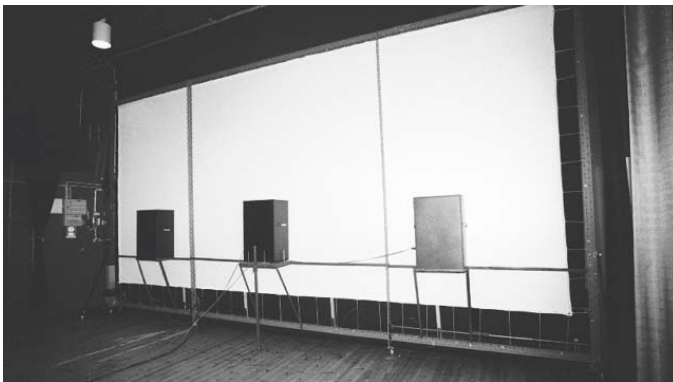
1.7.1 Högtalare och slutsteg

För att undvika ljudreflektioner från väggen bakom duken byggs oftast de främre högtalarna in i en baffelvägg (figur 16).



Figur 16: S.k. "baffelvägg" dvs. högtalarna är monterade i plan med väggen bakom duken. Väggen är också försedd med ett dämpmaterial. Duken spänns sedan upp i den svarta plåtinkelramen vars undre skena tyvärr hamnat precis framför låghasen, vilket kan komma att orsaka resonanser och försvåra service. SF:s HK-bio under byggnad, juni 2001. Bild och text Martin Voss-Shrader

Vissa salonger har fler funktioner är biografvisningar, t ex teater eller konferens, vilket ställer krav på att duken skall kunna flyttas och hela scenytan användas. Då finns inte möjligheten att ha en baffelvägg. Detta är ganska vanligt på t ex Folkets Hus och singelbiografer på mindre orter (figur 17).



Figur 17: Typiskt utseende bakom duken på bygdegårds eller Folkets Hus-bio där man måste kunna flytta undan duk och högtalare när scenen skall användas till annat. Sidohögtalarna måste sitta så långt in mot mitten att de inte riskerar att hamna bakom dukmasken när den körs in till 1.66. 3 st ECN-Cinemeks "Cinesound 110" högtalare. Bild och text Martin Voss-Shrader

JBL Professional rekommenderar följande modell för dimensionering av högtalare och slutsteg;

Kanaler bakom duk:

- **Bi** eller **triampas**, dvs. varje element kopplas till ett eget slutsteg för en bättre frekvensseparation.
- **LF**-element skall vara minst 15 tum och ge 95-97 dB SPL på 1 meter vid 1 Watt in, samt ligga i 300 Watts klassen.
- **HF**-element skall matcha LF
- **Slutsteg** skall matcha elementen i impedans och effekt.
- **I salong med;**
- **150** eller färre sittplatser – **1** LF-element/kanal
- **150-500** platser – **2** LF-element/kanal
- **500** eller fler platser – **4** LF-element/kanal
- **HF** placeras på ca 2/3 av dukens höjd så nära duken som möjligt samt med "toe in" och tilt så att axlarna möts 2/3 in i salongen.



Figur 18: Bakom duken i Academy of Motion Picture Arts and Sciences salong i Beverly Hills. JBL modell 5674, 3-vägs högtalare (deras största).

Effektkanaler (surround):

- **I salong med;**
- **200** sittplatser eller mindre – Låg- eller högeffektshögtalare.
- **Mer än 200** sittplatser – Högeffektshögtalare.
- **Lågeffekt** = dome tweeter som ger 91 dB SPL på 1 meter vid 1 Watt (100 W kontinuerligt)
- **Högeffekt** = compression driver som ger 96 dB SPL på 1 meter vid 1 Watt (250 W kontinuerligt)
- **Slutsteg** skall vara 4 Ohm och matcha effekten så att den passar elementen, dvs. om man har en effekthögtalare som är 250W @ 8 Ohm är slutsteget 500W @ 4 Ohm.

Skillnad i uppspelningseffekt mellan effektelementen får inte överskrida 9 dB. Det skall finnas **minst 3 st.** på varje sida plus två bak. Vid större salonger är en god riktlinje totalt 12-16 effekthögtalare.

Placeringen skall börja en tredjedel in i salongen från duken sett. Avstånd mellan högtalare 3-4 meter och de sista skall vara 3-4 meter från bakväggen. I höjd 4-5 meter upp och riktade mot sista sätet närmast väggen på andra sidan salongen.

Om man följer reglerna blir surroundtäckningen ± 2 dB.

Subwoofer:

- **Minst 18 tums** element som ger 97 dB SPL på 1 meter vid 1 Watt (400 Watt kontinuerligt). Ett element/700m³ (avrunda uppåt).
- Varje element skall drivas med **egen kanal från slutsteg** med matchande impedans. Högtalarna placeras tätt ihop på golvet bakom duken.

1.7.2 Maskinrummet

Eftersom maskinrummet, förutom ljudprocessorer och slutsteg, även rymmer projektorer, kylning till dessa och utrustning för automatisering av föreställningar, finns det risk för elektriska störningar genererade av alla enskilda system. En stor störkälla är tändanordningen för xenonkolvarna (lampan i projektorn). Kolvarna drivs med likström och har en effekt på 0,5-7 kW. Tändanordningen genererar en kraftig blixtn i tändögonblicket och blixten kan då ge kraftiga variationer i elnätet. För att undvika att all annan utrustning störs och förstörs försöker man i möjligaste mån separera strömslingorna för de olika systemen. I bästa fall har man enskilda elcentraler för de olika systemen.

Den mest kritiska delen i kalibreringen av ljudutrustningen är avläsningen av ljudspåren på filmen. Att kalibrera de digitala läsarna är oftast en enkel process, som sällan behöver

justeras i efterhand. Den analoga tontillsatsen (läsaren) är den som oftast orsakar problem vid installationer. Förutom problemet att ställa in de två parallella solcellerna, så att de läser var sitt spår utan för mycket överhörning, måste tontillsatsen ha en korrekt avpassad signalförstärkare och likriktare. En tontillsats är inte den andra lik, varför varje del i kedjan måste justeras på plats. Det kan ta upp till en dag att ställa in en sådan läsare så att den ger rätt signal utan överhörning mellan kanalerna och andra signalproblem.

1.8 Sammanfattning

Efter flera besök hos de stora svenska biografkedjorna kan vi dra slutsatsen att THX-normen har bidragit till att höja byggkvaliteten även i svenska biografteater. Men pga höga kostnader är det få som idag väljer att certifiera salongerna även om de bygger enligt liknande normer. SF har till och med valt att säga upp sina licenser. (Initialkostnaden för specifikationen får ingen lämna ut. De är även ovilliga att lämna ut information om merkostnader för byggnation. Det vi har fått fram är: 35 kSEK för delningsfiltret, \$1000/salong/år i licensavgift, samt \$2000/besök av kontrollant som sker en gång innan driftsättning och en gång/år därefter.)

I övrigt kan vi summera kostnaden för komplett ljudanläggning i typisk nybyggd svensk salong till ca 500 000 kronor. Kostnad för drift och underhåll av ljudsystemen är också det en uppgift som inga av biografkedjorna villigt lämnar ut. Eftersom systemen kalibreras ca en gång/år drar vi slutsatsen att den kostnaden är försumbar i mängden andra driftskostnader biografteatern har.

Nedan följer inköpskostnader för en salong hos AMC i Heron City:

- 3 st. 3-vägs fronthögtalare á 35000
 - 12 st. Surroundhögtalare á 5500
 - 1 st. Subbas
10000
 - 6 st. Stereoslutsteg 54000
 - 1 st. SR-D-läsare 35000
 - 1 st. SR-D processor 115000
 - 1 st. Aktivt delningsfilter 35000
- Summa: 420000 kr**

De senaste åren har man utrustat vissa salonger med en utökning till Dolby SR-D och DTS som kallas EX respektive ES. Detta är en utökning med en extra bakre kanal som sägs ge en bättre upplevelse av ljud som passerar över huvudet på åskådarna. Det har diskuterats om det verkligen ger upplevelseförbättring som kan rättfärdigas av de extra investeringarna. Framtiden får utvisa om så är fallet.

1.9 Referenser

- [1] Dolbys officiella hemsida www.dolby.com
- [2] SDDS officiella hemsida www.sdds.com
- [3] DTS officiella hemsida www.dtsonline.com
- [4] Bilder märkta Martin Voss-Schrader är hämtade från *Schrader Film & Kino utbildnings-CD v. 4.5* Martin Voss-Schrader mvx@swipnet.se
- [5] JBL Professional, *Cinema CD* www.jblpro.com
- [6] SF, *Fakta om Ljudsystem*, Mats Kullander
- [7] *Filmens och Televisionens tekniska historia*, Arild Jägerskog (KTH 2001)
- [8] Philips, *Planing A Cinema* (broschyr)
- [9] THX officiella hemsida www.thx.com
- [10] Studiebesök hos AMC, Heron City, Karin Eriksson
- [11] Studiebesök hos SF Filmstaden Råsunda, Mats Kullander

Artikelförfattare:

Johan Aglert johan.aglert@bredband.net

Emil Jankovic emil@jankovic.net

Fredrik Magnusson fredm@kth.se

Stockholm 2002-12-08

2. Ljudanläggningar på radiostationer

Malin Bjurling, Henrik Grunell, Petter Marling, 2002

Vi försöker i denna artikel svara på frågor gällande ljudanläggningar för radiostationer. Arbetet är till stor del baserat på våra studiebesök på Sveriges radio och Studentradion på KTH. Vi redogör även för en av radiostationernas viktigaste komponenter, kompressorn, som modifierar ljudet på olika sätt innan det kan sändas ut.

2.1 Introduktion

Vi ska försöka svara på följande frågor gällande ljudanläggningar för radiostationer:

- Vilka speciella förhållanden som råder i tillämpningen.
- Vilka ljudmässiga krav som finns.
- Speciella andra krav inom tillämpningen.

Vi kommer att gå igenom några olika radiostationer då det kan skilja sig en hel del i ovanstående frågor mellan olika typer av radiostationer.

2.1.1 Lite historia

I och med att Sveriges radio (SR), före detta Radiotjänst, har haft monopol på radio i Sverige sedan 1960 så har det endast funnits Sveriges radios utbud och olika typer av pirat radio fram till 1979 då närradio infördes.

1979 fanns tre typer av radio i Sverige:

- Riksradio (Sveriges radio).
- Lokalradio (Sveriges radio).
- Närradio (föreningsradio).

Syftet med närradio var att föreningar på orten skulle kunna sprida sina åsikter. De som ville börja sända radio fick bilda en närradioförening och sedan ansöka om att få ett sändningstillstånd. Rent tekniskt är närradio FM-sändningar med låg uteffekt, vilket gör att radion bara täcker närområdet. Det ska vara god hörbarhet inom en radie av 5 kilometer, vilket de flesta närradiostationer med råge överskrider. Studentradion är en närradiostation.

1993 auktionerades de första sändningsbevisen ut till nya privata lokalradiostationer. Bland de första var Radio City, NRJ och McAlvey (Bandit).

Många av de ”nya” kanalerna härstammade ur gamla lokalradiostationer till exempel bildades NRJ bland annat ur Radio Fotfolket, Radio Rix ur Radio SKAP/Expressens Panterklubb och SAF Radio City blev Radio City.

I dag finns det alltså fyra typer av radiostationer i Sverige:

- Riksradio (Sveriges radio)
- Lokalradio (Sveriges radio)
- Privat lokalradio (reklamradio)

- Närradio (föreningsradio)

Då staten i Sverige har bra koll på vad som sänds ut och har vissa krav på radiostationerna så har det blivit så att ljudkvaliteten på det som sänds i Sverige är förhållandevis hög i alla typer av radiostationer, men skillnader i kvalitet finns dock. Att staten har så stor inblandning gör att denna artikel i viss mån endast behandlar just ljudanläggningar i radio i just Sverige.

2.1.2 *Disposition*

Vi börjar med att beskriva vad som egentligen behövs för att sända radio för att sedan jämföra detta med de två stationer vi besökt, Studentradion på Kungliga Tekniska Högskolan och Sveriges radio. Vi diskuterar även kommersiella radiostationer och speciella förhållanden som råder där.

2.2 Sända radio

Radio betyder i vårt fall att förmedla någon information från en punkt till många. Vi kommer inte att gå in så mycket på hur olika distributionstekniker (till exempel AM, FM, DAB och Internet) fungerar. Det är dock självklart så att sändtekniken har en inverkan på kvaliteten hos det som tas emot av mottagaren. Alla tekniker kan dock förfinas så att i stort sett perfekt överföring kan uppnås inom vissa ramar.

De stationer vi kommer att gå igenom sänder framför allt frekvensmodulerat (FM). Karakteristiken hos överföringen vid FM gör att man kan ta till olika knep för att på olika sätt få signalen att nå ut så långt som möjligt eller att undertrycka brus. Dessa knep förändrar ljudet och ljudkvaliteten som sänds ut, men är avsiktliga för att det ska låta så bra som möjligt hos mottagarna. Vad som är bra är ju dock en smakfråga och ni kommer att få se några exempel på hur man förändrar ljudet på olika sätt inom olika radiostationstyper.

För att sända radio behöver man i stort sett ha en signal och en sändardel. I enklaste fallet en mikrofon eller en bandspelare där man spelat in vad som ska sändas som signal. Sändardelen består av ett antal delar som till exempel antenn, slutsteg och sändare. Dessa delar kan självklart vara av olika kvalitet vilket har en inverkan på ljudkvaliteten men om man ser till sändardelen hos de flesta radiostationer i Sverige (alltså inte piratradio) så är dessa av sådan kvalitet att den i stort sett inte har någon inverkan på ljudkvaliteten hos mottagaren.

Det som skiljer sändardelarna åt, om vi pratar FM-radio, är att de skickar ut signaler med olika styrka (effekt) för att få ämnad utsträckning hos signalen. Styrkan hos sändardelarna regleras också av staten (Post- och Telestyrelsen, PTS) för att bland annat förhindra att olika kanaler stör ut varandra.

En radiostation kan i stort sett bli hur komplex som helst där man kopplar ihop vad som helst (till exempel mikrofoner, telefoner, CD-spelare, MD-spelare och datorer) som ger ifrån sig ljudsignaler. Dessa komponenter kopplas ihop och mixas i vanliga fall på någon typ av mixerbord innan de sänds iväg till sändardelen. Innan sändardelen kan det också finnas apparatur för att på olika sätt kontrollera och påverka det som ska skickas iväg. Mer om detta i nästa avsnitt.

2.3 Ljudprocessning

På alla radiostationer bearbetas ljud innan det sänds ut. Detta kallas processning och är mycket viktigt i en studio. Ljudprocessning innebär till stor del komprimering av ljudet. Lars Lundberg beskriver på ett antal Internet-sidor vad ljudprocessning innebär (3) och nedan följer redogörelse av begreppet, till stor del baserat på hans artikelserie.

2.3.1 Processning, vad är det?

Ljudprocessning är både ett verktyg för teknisk kontroll och ett konkurrensmedel inom radio. Processning påverkar ljudet så att det kan attrahera lyssnare, stöta bort lyssnare och frammana stress. Grunden i ljudprocessning är att utjämna skillnader i ljudnivå, att dynamikkomprimera ljudet. Detta för att låga ljudnivåer inte ska drunkna i brus samtidigt som höga ljudnivåer inte ska överstyra systemet. Det komprimerade ljudet styrs ut till full nivå på sändaren och låter därför starkt. Processning sker i en eller flera "burkar" mellan mixerbord och sändare och fungerar genom att kompressorn analyserar signalnivån och använder denna för att kontrollera förstärkningen. En dynamikprocessor är alltså i stort sett en variabel förstärkare. I begreppet processning ingår även den separata behandling som mikrofoner, telefoner och musik utsätts för innan de mixas ihop och går in i huvudprocessorn före sändaren. Där ingår utöver kompression till exempel filtrering och equalizing.

2.3.2 Inställning av kompressorn

På en kompressor kan man vanligtvis göra inställningar av följande värden (4):

- *Threshold* (tröskelvärdet) anges i decibel (dB) och markerar vid vilken signalstyrka som kompressorn börjar arbeta. Ingen kompression sker för ljudnivåer under detta värde.
- *Ratio* är justerbar och är förhållandet mellan in-nivån och ut-nivåns dynamiska omfång. När inljudet är under tröskelvärdet komprimeras det inte. 5:1-kompression innebär att 5 dB in-nivå resulterar i 1 dB ut-nivå.
- *Output* anges i dB och möjliggör en höjning av utsignalen efter komprimering. Här ställer man in att utsignalen håller rätt nivå för utrustningen som ska ta emot ljudet. Ledningen till rundradiosändaren klarar till exempel normalt max 9 dB.
- *Attack* (stigtid) och *release* (eftersläpning) anges i millisekunder och styr hur snabbt kompressorn börjar trycker ner ljudet respektive släpper upp ljudet igen. En långsam stigtid tillåter transienter att passera oförändrade innan kompressorn börjar arbeta. Olika kontroller finns för att ställa in dessa värden.
- *Auto attack/release* finns på vissa kompressorer och är ett autoläge som justerar stigtid och eftersläpning kontinuerligt för att passa dynamiken i musiken.
- *Soft/Hard-knee* är en knapp som finns på en del kompressorer och som bestämmer hur exakt de ska börja komprimera när ljudet går över tröskeln. Med hard-knee börjar de komprimera direkt med den ratio man bestämt. Soft-knee gör att övergången mellan komprimerat och okomprimerat blir mjukare vilket låter naturligare. Soft-knee fungerar således så att reduktionen upp till tröskelvärdet sker progressivt över ett omfång av kanske 10 dB. Alltså, när nivån kommer inom 10 dB från tröskelvärdet börjar kompressorn att reducera nivån.
- *Kompression* är en mätare som visar hur hårt kompressorn arbetar, det vill säga hur många dB som hålls nere av systemet.

Ofta har kompressorer minst två kanaler och kan användas för en stereosignal eller för två monokanaler, till exempel två mikrofoner. De flesta kompressorer känner av

ljudnivån på sin egen utgång. De är alltså följdstyrda. En key-funktion på kompressorn gör att en extern utrustning kan styr när kompressorn ska arbeta. Med detta kan man bygga ihop fler utrustningar för att till exempel skapa en multibandskompressor.

Pumpningar och andningar är tecken på att kompressorn jobbar för hårt. Pumpningar låter som om ljudet har svårt att återhämta sig efter starka ljudpartier. Detta beror på att komprimeringen är för hård och eftersläpningen för lång. Andningar låter som om ljudet sveper upp och ner, nästan som om det andas. Detta beror på att ljudnivån ökar och minskar för snabbt (4).

2.3.3 Varför komprimerar man?

Det finns flera skäl till varför radiostationer komprimerar ljudet. En anledning till att minska det dynamiska omfånget hos ljudet är att de svagaste signalerna inte ska dränkas i bakgrundsbrus i våra hem så att vi blir tvungna att höja volymen, eftersom de starkaste ljuden då blir för starka för vår ljudutrustning (och för våra grannar). Kompression på radiostationen jämnar ut skillnaderna och ger ett lätthanterligt paket. Det blir lätt att hemma ställa volymratten till en nivå som känns lagom. Inga irriterande skillnader där vissa saker försvinner och andra blir för starka uppstår. Det ger lyssnaren en känsla av att stationen är lätthanterlig och pålitlig.

Ett annat skäl till att komprimera är att FM-mottagning ofta innebär brus i bakgrunden. En station som skickar ut komprimerat ljud, lägger merparten av ljudet ovanför bruset. Dessutom finns regler för hur starkt sändare får sända och det gäller att ligga precis under gränsen, vilket blir lättare om man jobbar med hårt komprimerat ljud. Stationen kan också låta bättre och få rätt personlighet med passande kompression. Användande av kompression, i samklang med musikval och stil, är en hel vetenskap i sig.

2.3.4 Komprimering och ljudkvalitet

Komprimeringen ger även upphov till negativa effekter på ljudkvaliteten. När DJ:n talar åker musiken ned. Även i musiken påverkas ljudet av komprimeringen. Nivån på vissa instrument sänks när andra spelar. Kompressorn drar ned nivån på allt när något starkt kommer och det låter inte bra. Klangfärg i tal och musik varierar med ljudnivå och kompression påverkar dessa förhållanden. Instrument i ett musikstycke kan också amplitudmodulera varandra. Till exempel kan en stark trombon göra att förstärkningen minskar vilket även påverkar alla andra instrument i en orkester (5). Om varje instrument i orkestern spelas in med varsin mikrofon och ljudet behandlas med olika kompressorer kan instrumenten inte amplitudmodulera varandra.

Lösningen på problemet med hur instrumenten påverkar varandra är flerbandskompression där basen skickas in till en kompressor, mellanregister till en annan och så vidare. Sedan blandas de samman igen. Det finns två, tre, fyra, fem och sju bandskompressorer på marknaden. Stereo kräver självklart en kompressor per kanal. Med flerbandskompression påverkar inte instrument med olika tonhöjd varandra. En DJ:s röst kan snyggt glida in och bara trycka ned musiken i mellanregistret. Bas och det ljusaste ligger kvar när han pratar och kompressionen hörs därför inte lika mycket.

Flerbandskompression är särskilt viktigt för musikstationer. Allt glider mer omärkligt ihop till en enda mix, enskilda instrument i en och samma låt, DJ och musik och låt mot låt. Dessutom bibehålls en mer homogen bas-diskant bild. Allt detta gör att låtarna verkar passa ihop bättre och stationen får ett eget ”sound”. Här ligger också en annan effekt, att skivor låter olika på olika stationer är en sak. Men med flerbandskompression, ändras till större del mixningen av instrument i musiken. Visserligen bara genom att ändra frekvensgången, vilket man kan göra med en vanlig equalizer (bas, mellanregister och diskantfrekvenser nivåkontrolleras individuellt), men då nivåjusteringarna i en

multibandskompressor sker kontinuerligt, efter hur varje instrument spelar och olika för varje frekvensband, så påverkas i större utsträckning "mixningen" av instrument. Detta bidrar till ett mer enhetligt sound för stationen, men är att yxa till låtarna. Många musiker, skivproducenter och musiktekniker är omedvetna om detaljer i stationers ljudprocess och går ofta i taket när de hör hur stationer manipulerar ljudet. Mer om detta i avsnittet om kommersiella lokalradiostationer.

Med flerbandskompression tas mycket av pumpningarna bort, men en ensam röst trycker ner mellanregistret, medan bas och diskant ökas då inte mycket finns där. Susande i diskanten och brummande, rumlande i basen komprimeras och lyfts upp till en hög nivå. Det låter konstigt, då originalljudet hade dessa ljud långt nere i nivå. Därför kräver multibandskompression en gate på varje frekvensband. En gate sänker riktigt svaga ljud, som när bakgrundsbrus finns, men inga andra ljud. Gaten påverkar bara när de allra svagaste ljuden ligger ensamma, då sänks nivån och bakgrundsljud lyfts inte upp. För att gate funktionen ska agera vid rätt nivå är det viktigt att den inkommande nivån är rätt. Därför har avancerade processorer en AGC (Automatic Gain Control) först. AGC är en långsamverkande fullbandskompressor som justerar inkommande signal till en lagom nivå, för att optimera funktionerna av de kretsar som kommer efter. En AGC påverka alltså inte ljudet, eftersom den är för långsam. Den justerar enbart nivån.

Gate kan användas i radio för att sänka bakgrundsljud på mikrofoner och telefoner. Gate missbrukas ibland. Ofta är det bättre att ha ett stadigt sus i bakgrunden eftersom det drar mer uppmärksamhet till bruset om det kopplas på när någon pratar men stängs av så fort ingen pratar. En mikrofon kan också vara kopplad till en gate som sänker alla andra ljud än de som kommer från mikrofonen. På en radiostation kallas detta för en "ducker". När DJ:n pratar sänks nivån på musiken (5).

Motsatsen till gate är limiter. En limiter används för att sätta tak för ljudnivån ut. Ingenting händer förutom när ljudet kommer upp till en viss nivå. Där tar det stopp. Limiter skyddar FM sändare från överstyrning till exempel av transienter. Rent elektriskt är en limiter som en kompressor. Man kan använda en kompressor och sätta förhållandet 20:1. Då krävs hela 20 dB in för att öka ut-nivån en dB, men bara över den kritiska tröskelnivån. Under tröskeln, så händer inget. En limiter påverkar därför inte det dynamiska omfånget utan klipper bara av för starka signaler.

Hur snabbt kompressorn dämpar när ett starkt ljud kommer och hur snabbt den ökar när ett svagare ljud skapar radiostationens sound. Med både snabb stigtid och eftersläpning, så justerar kompressorn snabbt nivåerna upp och ned. Då hålls inte ljudet nere länge efter ett starkt ljud. Men det resulterar också i att normalt svaga ljud som andningar, skruvas upp till nivåer i höjd med talet. Detta ger ett stressat intryck. Det låter som den talande är mer emotionellt uppskruvad, energisk. Det är visserligen bra om man vill få nyheter att låta viktiga och brådskande men är jobbigt att lyssna på i längden.

Komprimering av röster eliminerar således möjligheter till nyans. Vi kan bara förmedla vissa budskap och stämningar, som varningar, uppmaningar och ställnings-taganden. Inte den eftertanke och reflektion som vanligt tal och framför allt lugnt tal, kan ge. Klassisk musik och tal är därför de ljud som låter mest onaturliga då de komprimeras.

2.4 Totallösning för en musikspelande radiostation

En musikspelande radiostation kan dela upp bearbetningen av ljudet i tre huvudgrupper:

- (1) Direktsänt tal, i mono
- (2) Inspelad musik och reklam, i stereo
- (3) Slutlig programprocess

Det mesta av det ljudtekniska arbetet utförs av andra än DJ:n på större stationer. Detta för att avlasta DJ:n, men även för att skapa ett enhetligt stationsljud. Den ljudteknik DJ:n utför är i stort att trycka på start och öppna mikrofonerna.

2.4.1 *Direktsänt tal i mono*

I direktsänt tal ingår även lyssnarsamtal och externa nyhetsrapporter. Denna första kategori är mono då uppfattbarheten är det viktiga. Rösterna är med korta mikrofonavstånd, dämpad akustik och en röst åt gången. I en talk-show eller då man har gäster i programmet kan man använda stereo för att fördela rösterna mellan kanalerna, vilket ger en mer spännande ljudbild.

Alla röster processas med gate, s-cut, filter (EQ) och kompressor. S-cut sänker de vassa ess-ljud som vissa personer har. Allra helst ska det vara separat process för varje mikrofon, telefon, inkommande reporterlänk och så vidare. Det ger möjlighet till att detaljustera för varje röst. Separata gate-ar är bra för att hålla borta bakgrundsljud. Men finns det ingen ljudtekniker som skruvar under sändning, så faller mycket av idén med separat process på varje ingång.

Man kan först mixa ihop alla röster och sedan skicka dem som en signal igenom en processenhet innan de skickas till slutmix. Undantaget är DJ:n som har nytta av egen process som sedan skickas till slutmix. DJ:n talar över musik och då krävs en hårdare kompression och ofta vassare filtrering. Dessa extrema inställningar låter ofta för hårda för andra röster. För den separata DJ-kedjan kan man spara inställningar av nivåer för filter och dylikt så att varje DJ på stationen kan få de inställningar som passar hans röst genom att trycka på en snabbvalsknapp.

2.4.2 *Musik och reklam i stereo*

Dessa element är förinspelade, stereo, samt ska ofta bibehålla ett mer dynamiskt och fullödigt innehåll. För att skapa en genomarbetad ljudbild, så ges musik, reklam och promotions en konform ljudbild innan de mixas med annat. Detta sker genom att denna kategori först spelas över till ett nytt medium, till exempel hårddisk eller CD. Då kan man detaljustera varje inslag till rätt nivå för formatet. Man kan även höja svaga intron eller redigera bort vissa bitar. Detta ger också den efterföljande slutgiltiga programprocessen ett jämnt material, så den kan arbeta optimalt. Det är en stor fördel om en och samma person sköter allt detta, stationens ljudtekniker.

2.4.3 *Slutgiltig programkompression*

Nu mixas allt ihop och går till processburken. Först kommer AGC, en långsam grov nivåjustering. Uppgiften för AGC är inte att skapa sound, utan att optimera de funktioner som följer och är nivåberoende. Nästa steg är alla gate-arna, en för varje frekvensband gånger två för stereo. De olika gate-arna ska verka vid rätt nivåer. Sedan kommer de viktiga programkompressorerna. De är uppdelade för olika frekvensområden; bas, mellan, diskant. Det kan finnas olika antal band, men tre, fem eller sju är vanligt. Det behövs en kompressor för varje band, gånger två för stereo. Här görs den viktigaste kompressionen för stationens sound. Med jämna nivåer in, optimeras hur kompressorerna arbetar genom att ställa in stig- och eftersläpningstider.

Ljudet måste nu anpassa till överföringsmedium. För FM gäller att man vill sända så starkt som möjligt, för att höras bättre där sändarsignalen är svag. Att sända starkt blir ett sätt att öka räckvidden. Samtidigt får inte sändare överstyras. Att man inte sänder för starkt garanteras i det sista steget innan sändaren – FM-limitern. Denna kan sitta vid sändaren eller i studion. FM-limitern finns för att inte sända för starkt och störa andra stationer. Dessutom inträder distorsion i framförallt billiga FM-mottagare om de plockar

in svag sändarnivå och hög programnivå. Ett annat skäl till att inte övermodulera är att limitern skapar ett fult ljud när den arbetar, därför bör den bara vara en försäkring som sällan används.

Helst bör FM-limitrarna alltså inte arbeta. Men då många stationer verkligen vill sända så starkt det bara går, finns det de som kör så att FM-limitern klipper lite då och då. Då är fysisk placering av processen kritisk. FM-sändare bör placeras högt och få stationer har studion på samma plats som sändaren, som ofta finns uppe på ett berg eller till exempel i Kaknästornet. Om man vill sända så nära FM-standarden som möjligt ska limitern helst vara fysiskt placerad precis före sändaren. Det blir då svårt att justera inställningar eftersom man måste åka till sändaren. Bra mycket enklare är det att ha limitern i studion, men då blir ledningarna från studion till sändaren av avgörande betydelse. I ledningar och länkar kan nivåer och bas-diskantförhållanden ändras. Ibland placeras huvudprocessorn i studion och limitern vid sändaren och ibland är all utrustning placerad vid sändaren men fjärrstyrs från studion. En annan möjlighet är att skapa den färdiga radiosignalen nere på stationen och skicka den via HF (high frequency) till sändaren där då endast frekvensbyte sker.

2.5 Studentradion

Vi gick på studiebesök till studentradion på KTH och träffade ljudteknikern Bartek som jobbat på stationen i ett år och är helt självlärd. Studentradion är regelmässigt sett en närradiostation och måste följa alla regler för närradiostationer. Man får inga bidrag utan stationen finansieras helt genom att producera reklamslag och att sälja reklamtid.

2.5.1 Studions uppbyggnad

Rummet är vadderat för att minska efterklängen, men det finns ett luftintag till rummet som brusar ordentligt, speciellt om man riktar mikrofonerna mot det.

2.5.2 Teknik i studion

Tekniken i studion finns listad nedan:

- 1 mixerbord (Soundcraft SAC 100)
- 4 CD-spelare (varav en är trasig)
- 1 MD-spelare
- 1 mikrofonkompressor
- 1 huvudkompressor
- 1 videobandspelare
- 1 förstärkare
- 2 högtalare
- 2 datorer
- 1 skivspelare
- 1 mixer för skivspelaren
- 3 mikrofoner
- 1 switch till MD-spelaren

2.5.3 Mixerbordet

I studion finns fyra CD-spelare och en mini disc-spelare som alla går in på varsina kanaler på mixerbordet. Man har två mikrofoner och en back up-mikrofon som alla också har egna kanaler på mixerbordet. Ljudet från CD-spelarna kan man lyssna på genom två högtalare som finns i studion. Man kan även höra sig själv prata, men

använder då hörlurar för att undvika rundgång. När man vill spela upp musik i etern trycker man på on-knappen på ljudkällans kanal på mixerbordet, men om man bara vill lyssna på den själv i studion trycker man på que-knappen.

En del vill spela vinylskivor. Vinylspelaren är kopplad via en egen vinylmixer till det stora mixerbordet.

Det finns också en hybrid-kanal som används för att ta emot telefonsamtal till exempel i samband med lyssnartävlingar.

Switchen är en enkel A/B-switch som skickar signalen den får från mixerbordet till antingen MD:n eller datorn.

2.5.4 Mikrofoner

Man använder kondensatormikrofoner av märket Shure SM-58. Dessa kostar 1 600 kronor styck och låter enligt Bartek mycket bra. De kräver fantommatning, vilket inte kan fås från mixerbordet, så de har egen strömförsörjning. Till mikrofonerna används XLR-kablar. De är svåra att ta loss vilket är en bra egenskap just till mikrofoner. Man vill ju inte att sladdarna dras ut i tid och otid.

Mikrofonerna har puffskydd för att dämpa flåsljud som annars lätt uppkommer. Puffskydden är mer eller mindre avancerade. En stickad vante agerar skydd på en mick medan de andra har riktiga fabriksproducerade varianter.

Man använder mono-mikrofoner men sändningen sker i stereo. När en DJ har gäster i studion kan han fördela rösterna mellan höger- och vänsterkanalen för att skapa en mer levande ljudbild.

2.5.5 Högtalare / Hörlurar

I radiostudion har man två högtalare och hörlurar för att kunna lyssna på den musik som sänds ut eller ska sändas ut. Högtalarna och hörlurarna är vanliga produkter för hemma audio bruk.

2.5.6 Dator

Datorn används för att spela upp reklamslag, reportage och musik. I framtiden har man även för avsikt att spela in ljud på datorn. Tidigare har man "streamat" ljud från datorn, men licensen för Real Audio-servern har gått ut och är för dyr att förnya. Man letar nu efter andra lösningar.

2.5.7 Komprimering

Studentradion komprimerar ljudet mindre än kommersiella radiostationer. Kommersiella radiostationer komprimerar hårdare för att få en längre räckvidd på sina sändningar.

Mikrofonerna är kopplade till en kompressor som dels hjälper till att ta bort puffljud och dels komprimerar ljudet. Från mikrofonkompressorn går ljudet till en huvudkompressor. Hit kommer även musik och reklamslag. Dessa ljudslag är redan mixade och behöver inte komprimeras lika hårt som tal. Huvudkompressorn komprimerar inte särskilt hårt utan fungerar mer som en limiter.

2.5.8 Driftsäkerhet och dylikt

Från ljudutgångarna på huvudkompressorn går ljudet i balanserade kablar till utläggningsomkopplaren, som är en brun låda som sitter på väggen. Härifrån tar Teracom över och ljudet distribueras via balanserade ISDN ledning till Kaknästornet och sedan vidare till sändaren i Solna. Hur överföringen däremellan sker vill Bartek vara osagt. Det kan vara kabel eller radiovåg. När man slutar sända måste man vrida om en nyckel i utläggningsomkopplaren för att lämna över kanalen till nästa station. Detta glömde man en jul varpå kyrkan som skulle sända sin julmessa inte kom ut.

Om den som ska sända inte kan vara på stationen vid sin sändningstid kan programmet spelas in i förväg på mini disc. Både tal och musik spelas in och spelas sedan upp i radion.

På frågan om saker går sönder ofta svarar Bartek att en CD-spelare per år får man räkna med. Just nu är det annars ganska lugnt på stationen och Bartek har de senaste månaderna bara behövt vara där cirka en timme varannan vecka då en sladd lossnat eller dylikt.

Om något på stationen går sönder under sändning ringer man till Bartek och frågar om han är i närheten. Är han det kan han försöka laga felet. Annars avbryts sändningen för dagen.

2.5.9 Lagring av radiosändningarna

Från mixerbordet förs ljudet till en videobandspelare där ljudet spelas in på long play. På så sätt kan man för ca 20 kronor lagra åtta timmar radiosändningar. Banden måste lagras i sex månader och kan krävas in av Granskningsnämnden, Radio- och TV-verket, Justitiekanslern, Konsumentombudsmannen samt Arkivet för ljud och bild. Tidigare spelade man in från en separat radiodel, så att man verkligen spelade in det som gick ut i etern, men nu spelar man som sagt in det som går ut från mixern.

Man hade tidigare på försök spelat in ljudet på datorn som mp3-fil men det var för krångligt.

För att bland annat säkerställa framtida forskning kring närradion finns, enligt lagen om pliktexemplar av dokument, en skyldighet för sammanslutningar som sänder närradio att lämna en kopia av inspelningar av sända program. Sådana pliktexemplar ska på begäran lämnas till Arkivet för ljud och bild (1).

Granskningsnämnden för radio och TV är den statliga myndighet som granskar innehållet i radio- och TV-program som riktar sig till den svenska allmänheten. Granskningsnämndens uppgift är att övervaka att innehållet i redan sända program överensstämmer med de lagregler och tillståndsvillkor som finns på området (1).

2.5.10 Kostnader

Det mixerbord som används är gammalt och går antagligen inte att köpa i dag. Men ett liknande bord skulle kosta cirka 18 000 kronor att köpa (grundplåten). Varje kanal köps sedan separat och kostar ca 1 000-2 000 kronor. Totalkostnaden blir således några tiotusen kronor. Det är ett hyfsat billigt, men även hyfsat bra mixerbord. Om man köper ett nytt, dyrare mixerbord kommer det inte att innebära så stora skillnader i ljudkvalitet för lyssnarna utan snarare förändra arbetet för radiopratarerna. En CD-spelare, liksom en mini disc-spelare kostar cirka 2 000 kronor. Kompressorerna kostar också ca 2000 kronor.

Att sända närradio kan delas upp i två huvuddelar:

- (1) För det första måste någon göra ett radioprogram. Detta görs av en sändande förening, tillståndsinnehavare.
- (2) För det andra måste programmet distribueras till en sändare och sändas ut. Detta görs av en studioinnehavare.

I fallet Studentradion är tillståndsinnehavaren och studioinnehavaren en och samma förening. Många mindre föreningar väljer dock att endast producera programmen, och vänder sig till en annan förening som är studioinnehavare för att erhålla produktionsresurser samt möjlighet att nå radiosändaren. Då bär tillståndsinnehavaren och studioinnehavaren var sin del av olika kostnader. Studioinnehavaren får genom Stockholms Närradioförening en förbindelse från sin studio till sändaren. Stockholms Närradioförening inte är vinstdrivande, men måste samtidigt få in pengar som täcker kostnaderna, så prislistan varierar lite från år till år.

Tillståndsinnehavaren betalar en medlemsavgift på 500 kr per år till Stockholms Närradioförening. Sänder man en tim i veckan motsvarar detta cirka 17 kronor per timme. Det är närradioföreningen som i första hand fördelar sändningstider. Tillståndsinnehavaren betalar även en sändarhyra och en frekvensavgift. För 95,3 MHz som studentradion sänder på är avgiften 964 kr per år för en timme i veckan. Utnyttjar man årets alla 52 veckor för sin timme blir kostnaden cirka 19 kronor per timme. Tillståndsinnehavaren måste också betala musikavgifter eller STIM-avgifter. För varje timme skyddad musik man spelar i radio måste man betala avgift. En förening som sänder närradio 4 timmar i veckan spelade 32 timmar skyddad musik under ett år och betalade för detta 140 kr per timme (2).

Ledningen från studio till knutpunkten betalas av studioinnehavaren (2). Ledningen är i stereoutförande. Uppkopplingsavgiften (engångsavgift) för en ny ledning ligger på ett pris i storleksordningen kr 10 000 kr per ledning. Stereo kräver två ledningar. Dessutom tillkommer en årsavgift. Denna beror på var inom staden studio är belägen. År 2000 var årsavgiften för stereoledning för en studio belägen inom tullarna och norr om Slussen 13 600 kr/år (2). Studentradions studio delas med andra föreningar.

2.5.11 Leverantörer

CD och MD spelarna är av vanlig hemmastereo-typ. Mixerbord till radiostationer är av typen de samma som används vid konserter och inom TV produktion. Det finns cirka 20 – 30 olika leverantörer utav sådan utrustning och man köper den direkt från leverantör.

Kompressorer tillverkas av en mängd olika företag som håller på med ljudteknik. De finns i alla klasser, från lågbudet (Behringer, Samson, Alesis), via semiprofessionella (Focusrite, Mindprint) till professionella (även här Focusrite, Mindprint, Joe Meek). Dom går att köpa i dom flesta musikaffärer.

2.5.12 Varför sänder man på låg effekt?

Detta är dels en regel fråga, men även en kostnadsfråga. Studentradion är juridiskt sett en närradiostation och använder en sändare med en effekt på 160 Watt. Post- och telestyrelsen tar ut en årlig avgift per radiosändare (1). Den avgiften är 3 000 kr per år (1998) för en sändare som inte är starkare än 500 W. Normalt ska det sändningsområde, inom vilket ett närradioprogram kan tas emot, omfatta högst en kommun (1). Högre effekt på sändningen leder till att fler hushåll kan nås av sändningen. Utökad räckvidd kan medföra högre sändarkostnad för de sändande sammanslutningarna, bland annat kan det vara nödvändigt att använda flera sändare. Räckvidden för sändningarna är i dag 400 000 hushåll. (2) Teracoms utläggningsomkopplare får inte matas med mer än 9 dB. (4)

Bartek har själv hört sändningar så långt bort som i Västerhaninge, men då var det mer brus än signal. Han tror att signalen når 10-15 km. Man kan också höra sändningarna via ComHems kabelnät.

2.5.13 Vad är skillnaden mot en kommersiell radiostation?

Bartek tror att det främst handlar om hur man arbetar. På en kommersiell station finns både en tekniker och en DJ. Dessa sitter i var sitt rum och DJ pratar bara, medan teknikern byter skivor, sätter på reklamslag, stänger av mikrofoner och så vidare. På studentradion måste en person göra allt själv.

Även prisklassen på utrustningen varierar. På kommersiella radiostationer kan man ha speciella programvaror till datorn och speciella tangentbord.

2.6 Kommersiella lokalradiostationer

En kommersiell radiostation består ofta av två studior och ofta något slags rörlig studio/team som kan sända ute på stan. Till skillnad mot Studentradion så har de en DJ och en ljudtekniker. DJ:n pratar i stort sett bara och ljudteknikern sköter allt det andra.

Ett viktigt hjälpmedel hos de kommersiella radiostationerna är datorn. Där har man jinglar och reklamslag lagrade och de spelas också upp därifrån på kommando från antingen DJ eller ljudteknikern. I övrigt är studion utrustad med i stort sett samma saker som studentradion men i kanske lite dyrare och modernare snitt. Den största skillnaden hos kommersiella radiostationer och andra är att man ofta pressar sina kompressorer kraftigt. Detta på grund av flera faktorer.

Dels vill kommersiell radio nå ut så långt som möjligt och detta kan man göra genom att trycka ihop det dynamiska omfånget för att sedan pressa upp hela signalen. Det undertrycker bruset. Man använder också kompressorerna för att skapa ett visst "sound" på radiokanalen. Detta sound beror på vilken målgrupp man vill nå ut till. De som söker drag och energi, mest ungdomar, lockas av en station som låter starkt. Med både kort stigtid och eftersläpning justerar kompressorn snabbt nivåerna upp och ned vilket ger ett stressat intryck som lockar ungdom men som samtidigt skrämmer bort de äldre.

Dessa faktorer gör att ljudet förvrängs på ett markant sätt som kan tyckas märkligt. Men den stora massan märker knappt av dessa förändringar trots dess grova karaktär. Många musiker, skivproducenter och musiktekniker är väl medvetna om radiostationernas inverkan på ljudet och mixar ofta ihop speciella radioversioner som skickas ut till radiostationer. Dessa är mixade på så vis att de ska motverka de kraftiga inställningar som finns hos radiostationernas kompressor. Detta gör att musikerna faktiskt ändå kan styra soundet i sina låtar.

Problemet med detta kan bli att radiostationerna märker det och styr upp sina kompressorer ännu mer med resultatet att musikens nivåer skiftar kraftigt mellan olika låtar och det börjar låta konstigt. Det kan faktiskt också vara så att låtar kan låta subjektivt sett bättre i radio än vad de gör på skivan på grund av kompressorer som är bra inställda. Detta är något som artister är väl medvetna om och som man som skivköpare ibland kan märka.

2.7 Sveriges Radio

Sveriges Radio har 2200 anställda på 25 huvudorter. 1000 jobbar i radiohuset i Stockholm, varav 60-70 är ljudtekniker/operatörer och färre än tio är serviceingenjörer. IT-driften består av 35 personer plus att varje kanal har egna datortekniker. Budgeten ligger på runt två miljarder per år. Radiohuset i Stockholm byggdes under slutet av 1950-talet och man flyttade in i början av 60-talet. Byggnaden var på sin tid ljudmässigt "state of the art". Vid vårt studiebesök på Sveriges Radio guidades vi av Roland Janevi, chef för dataavdelningen.

Sveriges Radio skiljer sig mycket från lokala och kommersiella radiostationer. Man har ett public service-uppdrag från svenska staten som bland annat innebär att man är en del av totalförsvaret och därmed ställs extremt höga krav på driftsäkerhet. Sveriges Radio sänder också mycket färdigproducerat material som konserter, radioteater och liknande. Man sänder radio på tre sätt: FM (analogt), DAB (digitalt) och streamat via Internet. DAB ger sämre ljudkvalitet än FM, men rymmer fler kanaler inom ett begränsat frekvensområde.

2.7.1 Studior

Det finns ett stort antal studior på Sveriges Radio. Alla enskilda studior har olika teknisk utrustning. Det är svårt att tala om en "standardstudio". Varje kanal har sina egna studior med sin egna utrustning anpassat till det programmaterial som sänds och hur man vill att kanalen ska låta. Gemensamt för alla är dock att de består av minst två rum, ett för ljudteknikern och ett eller flera för programledaren, gäster, publik etcetera. Studiorna är byggda som "låda i låda", det vill säga ett rum står på stora gummiklossar i ett annat rum där väggarna och taket inte har kontakt med varandra. Detta för att göra dem så ljudisolerade som möjligt. Kostnaden för en studio ligger på 1 - 4,5 miljoner kronor, där den överlägset största utgiften är kontroll-/mixerbordet.

Studiorna kan i stort delas in i tre kategorier efter användningsområde. Talstudior är minst och används för till exempel nyhetssändningar. Featurestudior är större och används för program med flera gäster. Tal- och featurestudior har liknande teknisk utrustning. Störst är publikstudiorna som delas av alla kanaler och där det ryms en scen och publik. Dessa används främst för konserter och fungerar som en inspelningsstudio. Publikstudiorna har olika akustik och utformning för att passa olika musikstilar. Man sänder normalt inte direkt från en publikstudio utan spelar in och redigerar för att sända senare. Den största publikstudion är Berwaldhallen, eller studio 1 som den egentligen heter. Det finns också mer speciella studior för att exempelvis spela in radioteater.

2.7.2 Ljudredigering

På Sveriges Radio använder man tre olika ljudredigeringssystem: BMS (linjärt), Digas (bitreducerat) och Radioman (bitreducerat). Alla system har samplingsfrekvensen 44,1 kHz. Om man spelar upp musik via DAT (48 kHz) måste den först omvandlas till 44,1 kHz. Att det finns tre system beror dels på att man måste ha åtminstone ett för linjärt och ett för bitreducerat, dels på utveckling och testning. Det finns också de som anser att ett visst fabrikat är mer lämpat än andra för en viss programtyp.

Inom FM-radion används nästan uteslutande linjärt ljud, inom DAB bitreducerat. Vid en lång produktionskedja försämras ljudet mycket om man inte använder tillräckligt hög bithastighet.

2.7.3 Datornätverk

I radiohuset finns ett datornätverk med en kapacitet på 1 Gb. Det installerades år 2000 och kostade 16 miljoner kronor. Varje kanal har sitt egna separata nätverk. All ny musik man får på CD-skivor lagras på serverna i källaren och när man spelar en låt via datorsystemet spelas filen upp direkt från servern. All gammal musik på vinylskivor, band etcetera lagras i dataform allt eftersom de spelas. Det finns också servrar som sköter sändningen av streamat ljud över webben.

För reportrar utomlands finns idag ISDN-kopplingar till drygt 25 orter. Det ger mycket bättre ljudkvalitet än tidigare då alla sådana reportage skedde via telefon.

2.7.4 Driftcentralen (DC)

Från en studio går ljudet till driftcentralen (DC) som är slutstationen innan ljudet sänds iväg till sändaren i Kaknästornet. Hos DC övervakas ljudet så att det håller så hög kvalitet som möjligt till sändaren. Man använder mycket avancerade kompressorer som delar upp ljudet i många frekvensband som analyseras innan ljudet "provkomprimeras" och sedan testas av kompressorn. Är kompressorn nöjd skickas det ut, annars ändras vissa parametrar och komprimeringen ändras. Varje kanal har sin egen utrustning och egna kompressorinställningar hos DC av samma anledning som man har olika utrustning i studiorna.

Det är en mycket trög process att ställa in kompressorerna så att det blir bra, man

ändrar väldigt lite väldigt sällan. Det kan ta några månader innan man är nöjd. Den kanal som låter bäst är P3, eftersom man har lagt ner mest tid på den. Från DC skickas ljudet till sändaren, som ägs av Teracom, i Kaknästornet. Tidigare hade Teracom en mängd utrustning som ljudet passerade. På Sveriges Radio visste man inte riktigt vad den gjorde men man ansåg att ljudet försämrades av den. Efter trögt arbete har man lyckats få Teracom att ta bort nästan all utrustning vilket man är nöjda med.

DC övervakar också dataöverföring mellan olika orter i Sverige. Denna överföring sker med parabollänkar som är känsliga för dåligt väder och man arbetar just nu med att bygga upp ett kabelnätverk mellan de större orterna i Sverige. Vid en större nödsituation kan DC bryta och ta över sändningarna i alla kanaler, för att till exempel sända viktiga meddelanden. Många kommersiella radiostationer är också kopplade till detta system så att DC kan komma ut även på deras frekvenser. Hos DC finns utrustning att sända åt andra kanaler eller lokala stationer om deras utrustning går sönder.

2.7.5 Lagring av sändningar

Man lagrar det som sänds av två anledningar. Dels måste allt som sänds enligt lag sparas (referensbandas) och även skickas till Arkivet för ljud och bild, dels vill man själv behålla vissa program i sitt egna arkiv. Man lagrar i första hand på vanliga band. För referensbandningen finns inga krav på ljudkvaliteten annat än att man ska kunna höra vad som sägs. För det egna arkivet ska man ha programkvalitet.

2.7.6 Blandat smågodis

Om man ska tala om standardmikrofon på Sveriges Radio måste det bli Neumann U-87, en kondensatormikrofon som började tillverkas 1967. Mikrofonen sitter upphängd med en gummiupphängning i en korg med som i sin tur sitter fast i ett stativ. Man använder fortfarande många mikrofoner från 60-talet och för att testa mikrofonerna finns ett ekofritt rum med en högtalare och ett mikrofonstativ.

En rullande studio i en buss kan användas om man vill spela in reportage ute på fält eller sända direkt därifrån. Från reportern görs en HF-sändning till bussen och vill man sända direkt måste ljudet sändas till radiohuset med till exempel en riktad mast.

Förr i tiden gjorde man ekoeffekter med hjälp av ett ekorum. Ljudet sändes ner till ett speciellt utformat rum med en högtalare och en mikrofon, sedan tillbaka. Det fanns flera rum med olika karakteristik, till exempel olika efterklangstid. I dag har man kvar ett rum som används ibland men normalt använder man givetvis effektprocessorer.

2.7.7 Driftsäkerhet

Som en del av totalförsvaret ställs extremt höga krav på driftsäkerheten. Sändningsavbrott får aldrig förekomma. För att säkerställa strömförsörjningen har man flera elsystem i huset och vanlig el kommer in längs två vägar. Det finns reservkraft i form av ett dieselaggregat som startar efter 20-30 sekunder efter ett strömavbrott och som går så länge det finns dieselolja samt en UPS (Uninterruptible Power Supply) som räcker i minst en timme. Endast vissa vitala delar är kopplade till UPS:en och får då kontinuerlig strömförsörjning, medan andra mindre viktiga delar kan bli utan ström.

Om ett mixerbord eller annan utrustning går sönder byter man helt enkelt studio. All nätverksutrustning är dubblet och allt innehåll på hårddiskar speglas. Går någon del sönder används bara dess tvilling istället. Det finns en backuprobot som innehåller 700 band om 100 Gb.

Förutom Kaknästornet finns det andra både luftburna och markbundna vägar att nå ut. Hela produktionen kan flytta till andra delar av huset och även ut ur huset. Vissa av dessa alternativ är offentliga och andra är hemligstämplade. Helt säkert finns det andra säkerhetsåtgärder som endast är kända på högre nivå.

2.8 Referenser

- 1) <http://www.grn.se/PDF-filer/Info/nerradio.pdf>
- 2) <http://www.cityradio.nu/avgifter.htm>
- 3) <http://www.onair.nu/lars/procesing1.html>,
<http://www.onair.nu/lars/procesing2.html>,
<http://www.onair.nu/lars/procesing3.html>,
<http://www.onair.nu/lars/procesing4.html>,
<http://www.onair.nu/lars/procesing5.html>,
<http://www.onair.nu/lars/procesing6.html>
- 4) <http://www.radioufs.com/ljudteknik/del2.shtml>
- 5) "The Art of Sound Reproduction", Watkinson J, 1998

3. Audio Systems for Cars

Fredrik Derger, Agustin Gonzalez, Jonas Skubic, 2002

This paper gives an overview of what is required in order to build a high quality car audio system. It presents the currently available technological options available and advantages and disadvantages of different solutions. It is important to take into consideration the special acoustic properties of cars and the high level of ambient noise. The available electrical power in a car sets a limit on the power consumption of the audio system. Recent development has brought surround sound to cars, together with DVD and digital video.

3.1 Introduction

The first car radio was built in 1929 by an American, Paul Galvin, and his company Galvin Manufacturing Corporation, which later became Motorola. In the 1960's, 8-track tape players were installed into cars, in order to listen to recorded music. These were later replaced by the more compact cassette tapes that became popular during the 1970's. In the 1980's, the first CD players were installed into automobiles, introducing digital audio to car audio, and recently people have started using MP3 players as their source of music in their cars. For many years, car audio was mainly for car enthusiasts who were willing to install their car audio systems themselves. Today, most cars sold include some kind of car audio, and there are now thousands of companies who sell car audio related products. Still, there are plenty of hobbyists, who spend time and money on building and improving their car audio.

One way this manifests itself is the competitions held in many places all over the world where car audio builders put their systems up against each other. These contests usually involve testing the sound quality, the highest possible sound pressure level, the frequency response and the quality of the installation.

3.2 Overview – The Layout of a Car Audio System

When you want sound in your car there are two main roads to follow. There are the regular factory installed consumer systems and there are the car audio enthusiast systems. The regular system consists mainly of two parts, the head unit and the speakers. The head unit controls everything and consists of a radio receiver with a CD or cassette player and a two or four channel amplifier. To the head unit there are a number of speakers connected.

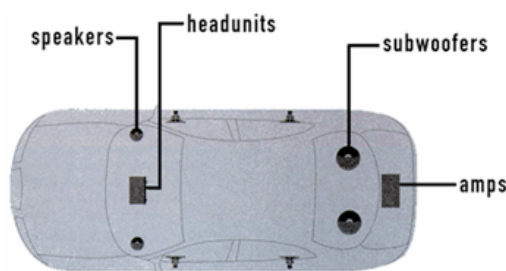


Figure 1: The main components of a car audio system.

For the enthusiasts, who put down serious money and want a lot of sound in their car, the system looks a bit different. The first thing to correct is the limit of the head unit which

in general has a pretty weak amplifier, so you get one or more separate power amplifiers and use the head unit as a control unit and preamplifier. With this new power the next step would be to get more speakers, bigger speakers and louder speakers.

3.3 The Acoustics of Car Audio

There are many problems one faces when building an audio system in a car. Cars are first and foremost designed to be vehicles – they are not designed to be ideal listening environments. The inside of a car has a mix of sound absorbing surfaces, such as the cushions of the seats, and reflective surfaces, such as the windows. The acoustic properties also vary depending on the number of passengers – humans absorb sound.

Speaker placement is difficult as there are a limited number of places where the speakers can be installed and it is therefore difficult to get good and consistent sound to all listeners. The speakers will always be placed close to a listener and each listener will be close to a different speaker.

A moving car can be a relatively noisy environment. There are several sources of noise: road noise, produced as the tires interact with the surface of the road, wind noise, caused by air flowing around the moving vehicle, and engine noise. All of them can vary quite heavily depending on speed, acceleration, road surface and other factors. There is also the noise produced by other cars. Most of the ambient noise in a moving car is of low frequency, so it is often desirable to use equalization to boost the low frequencies of the music in order to overcome the noise.

The car industry has made efforts to reduce the amount of noise in cars, and several car models are advertised with their low noise level being a major selling point. Still, there are things that can be done to further reduce the noise level and improve the acoustics inside the car. Usually, this means adding different types of dampening materials.

3.4 The Electrical System

High quality sound and high sound levels require a power source capable of delivering enough power to the audio system at all times. The available power sources in a car consist of a 12 Volt car battery, and an alternator, which generates electricity from the engine's mechanical power. The alternator provides a higher voltage than the battery – about 14 Volts. This translates to better sound quality when the engine is running compared to when the car is parked.

The electrical power delivered by the car's electrical system is used not only by the audio system but also by the car's lights, horn, heating, air conditioning, etc. If all these systems use more power than the electrical system can handle, the voltage will drop and the battery will drain. Lower voltage means increased current and increased heat in components. This can cause the components to overheat and stop functioning.

One way of overcoming this is to install a better battery capable of delivering more current, or installing an extra battery. Another (obvious) way of dealing with this problem is to opt for solutions that require less power, for example using more efficient amplifiers. Another possibility is to install capacitors, which store voltage and release it at heavy loads. This can be useful if there is normally enough power, but some extra power is sometimes needed during short periods, e.g. for short loud bass-heavy sounds.

3.5 The Head Unit

The head unit is the heart of the audio system. It is the central processing device in the system and controls all the functions in the car audio system: volume, bass, balance, etc.

All changes and controls come through the head unit. If you could see behind the head unit in the dash, you would find a dozen or so wires going off in all different directions to other systems in the car. These are like the nerves in your body, transmitting signals to and from the various components.

In addition to volume, bass, etc., the head unit may contain other systems within its casing. These include: tuner, cassette, equalizer, CD or amplifier.

We will describe briefly the features of one of the best commercial head units in order to get an approach of what really involves a car audio system.

The model that we have selected is Clarion VRX925VD. This source contains in single DIN in-dash unit a AM/FM tuner, a CD player, a DVD player, a MP3 player using CD-R's and a 7" fully motorized touch screen control color LCD display.

This head unit can also control a 6-disc DVD changer, a TV tuner module and a Sirius Satellite Radio receiver for a complete multimedia system. Touch screen control enables all functions to be accessed by touching the screen. An on-screen Graphical User Interface (GUI) display makes access to any feature straightforward, and an included infrared remote control duplicates all of the touch screen functions.

On the audio side, that is what we are most interested in, the VRX925VD has 3 band parametric EQ for precise tone controls, 24 bit D/A converters for awesome audio reproduction, fiber optic output for connecting it to a Dolby Digital/DTS/Dolby Pro Logic II decoder and 6 channel 4 volt line outputs for low noise when using external amplifiers. It also includes a built-in 200 W (50 W × 4) amplifier.

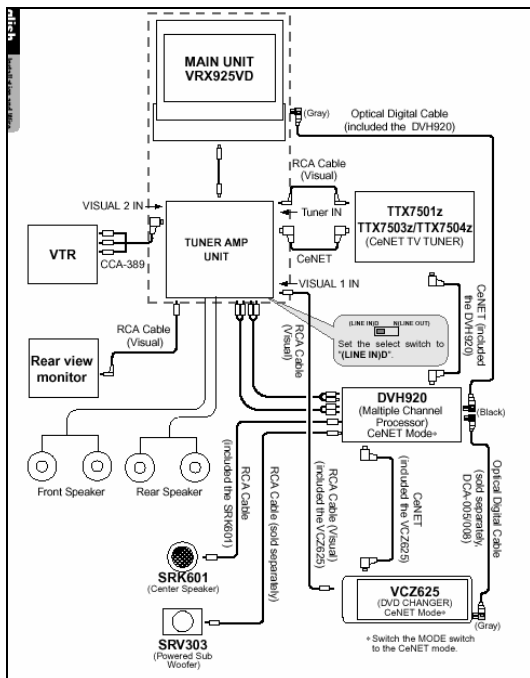


Figure 3 Connections without external amplifier.

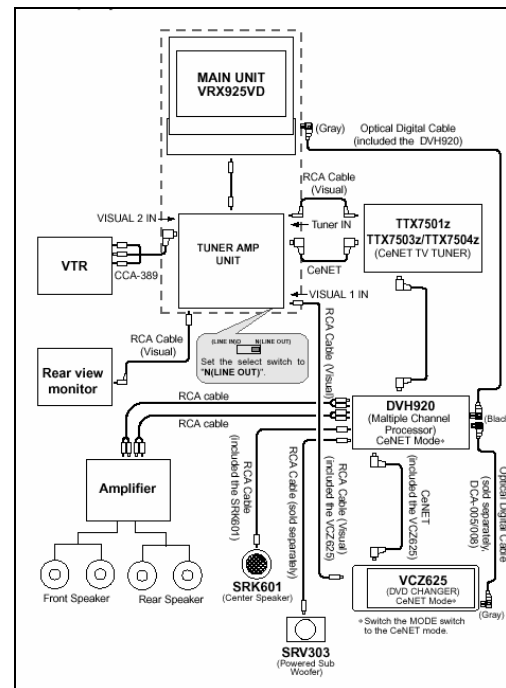


Figure 2 Connections with external amplifier.



3.5.1 5.1-channel Dolby Digital/DTS Surround

With the arrival of DVD, 5.1-channel surround sound is rapidly becoming the entertainment format of choice in motor vehicles. Dolby Digital and DTS provide three channels of front sound (Left, Right, Center), together with two rear surround sound audio channels (Left, Right) and a dedicated low-frequency channel for a subwoofer. This combination can reproduce the dynamic sound field of a movie theater in a relatively small space.



3.5.2 Dolby Pro Logic II

Dolby Digital and DTS require 5.1-channel encoded software in order to produce 5.1-channel surround sound. Dolby Pro Logic II can create a 5.1-channel sound effect from ANY 2-channel software. So even if your favorite DVD movie is only in stereo, no problem. You can also enjoy stereo music CDs, MP3 audio and radio programs with 5.1-channel sound. What's more, Dolby Pro Logic II has a phantom mode that simulates the center speaker so you can reproduce a quasi 5.1-channel soundscape from the four standard speakers of a car audio system.



3.5.3 24-bit D/A Converter

Re-quantizes the 16-bit audio signals from CDs and DVDs as 24-bit data while maintaining the low distortion and high linearity of a 1-bit D/A converter. This allows an expanded dynamic range and clearer reproduction of subtle nuances, for a richer sound when viewing DVD's or listening to CDs.

[*It seems unlikely that this would be of any benefit in a moving car /Ed.]*

3.6 Amplifiers

Usually, in car audio systems that are preinstalled in cars, the speakers are connected directly to the head unit. However, this setup will not be able to deliver enough power to the speakers to get good quality sound at high sound levels. For this reason, anyone who is interested in high quality car audio needs to install external amplifiers to boost the signals from the head unit to the speakers. These need to be separate from the head unit because of their size and because of the large amounts of heat they generate.

Amplifiers are divided into different classes depending on how they are constructed and what method they use to amplify the signal. The choice of amplifier class is basically a trade-off between sound quality, power consumption and price.

3.6.1 Class A

Class A amplifiers use a single device to amplify the whole signal, and the amplifier conducts all the time.

The downside of this type of amplifier is that it only has an efficiency of about 20 per cent. This means that they use a lot of power while producing large amounts of heat, so they need large heat sinks and fans in order to keep reasonably cool. For these reasons, Class A amplifiers are rarely used in cars.

3.6.2 Class B

Class B amplifiers use two output devices per channel. One device amplifies the positive part of the signal, while the other one amplifies the negative part. In other words each output device only conducts half of the time, i.e. when it is actually needed. This makes Class B amplifiers a lot more efficient than Class A amplifiers, but at the cost of more distortion. When the outputs from the two devices are added together to form the complete signal, there will be distortion as the two signals overlap at the transition between the two.

3.6.3 Class AB

Class AB is a combination of Class A and Class B. Like Class B amplifiers, Class AB amplifiers use two separate output devices to amplify the positive and negative parts of the signal. However, there is a small overlap between them, so that when they are combined there is less crossover distortion. Like Class A amplifiers, Class AB amplifiers always conducts, although the current is typically smaller than for Class A.

Class AB is the most common type of amplifier used in car audio. This type of amplifier is more efficient than Class A amplifiers, while distorting the signal less than Class B amplifiers. It is basically a trade-off between efficiency and sound quality.

3.6.4 Class D

Unlike the previously mentioned amplifier classes which are analog, Class D are digital. Digital amplifiers convert the analog input signal to a digital pulse width modulated signal. This means that the length of each digital pulse corresponds to the amplitude of the input signal. The pulse width modulated signal is then used to control the output signal by switching MOSFET power output transistors.

Digital amplifiers have normally been used to drive subwoofers. One reason for this is that digital amplifiers normally are significantly more efficient than analog amplifiers, and subwoofers need a lot of power. Another reason is that digital amplifiers distort the signal rather heavily in the high frequency range. As subwoofers only use the low frequencies, the high frequencies, and thus also the noise, can be filtered out. The frequency of the noise

depends on the frequency at which the MOSFETs operate. Recently, MOSFETs have been developed with a high enough operating frequency that the frequency of the noise is higher than the upper limit of the human hearing range. This means that digital amplifiers can be used to amplify the full audible range of frequencies with low levels of distortion and with high efficiency.

As the price drops on these amplifiers, they will most likely become more common in hifi car audio installation.

3.6.5 Bridging

Bridging an amplifier means combining two or more channels into one by combining their power outputs. Using bridging it is possible to drive a single speaker with more power than would be possible if each channel drives a separate speaker. This technique is mainly used in order to deliver enough power to drive a subwoofer. Bridging also mean more amplifiers are needed in order to drive the same number of speakers as an unbridged setup.

3.6.6 Crossover filters

Crossover filters are used to split an audio signal in different frequency ranges. Passive crossover filters need no power source, and are installed between the amplifier and the speakers in order to send different frequency ranges to different speakers. This is done so that the speakers are only sent the frequencies that they handle the best. For example filter out low frequencies that tweeters have difficulties handling, before the signal is sent to those speakers. Active crossovers are installed between the head unit and the amplifiers in order to send different frequency ranges to different amplifiers in a multi amplifier setup. They are generally more flexible than passive crossovers, as the cut-off points of each frequency band can be adjusted. However, they need external power and are more expensive than passive filters.

3.7 Speakers

3.7.1 Main Speakers

The cheapest car audio systems contain just the head unit and a pair of coaxial speakers in the front of the car. A more expensive system might have separate tweeters and midrange speakers in the front and back plus one or two subwoofers in the back of the car, all powered by separate power amplifiers with the head unit working as a preamplifier.

The front speakers are usually the most important ones. They come in three basic types, full range, coaxial and separates. The coaxial consist of a low-midrange speaker with a tweeter mounted in the center of the speaker, sometimes they even come in three or four way setups. The coaxials are usually what you would find installed when you buy a car. They are good because they take up little space and are easily replaced if you would want to upgrade the speakers, but still they are mainly a cheaper way to get the benefits of a two or three way speaker set.



Figure 4 A full range speaker (left) and a coaxial speaker (right).

Component speakers come in two or three way sets. These two or three speakers cover the full range of audible frequencies with a tweeter for the high frequencies, about 15000-20000 Hertz and the mid to low frequency speaker which covers the rest. The more expensive systems usually have subwoofers, and in that case, you only use the components for medium-high frequencies and the subwoofer for the low frequencies.

The tweeters are very small and light since they need a fast response and must move easily. The mids are bigger, about 6" since they need to move more air.

You will also need a crossover filter to direct the different frequencies to the right speakers because it will sound very bad if the speakers are subjected to frequencies for which they are not intended. In addition, you can destroy the high frequency speakers if you throw low frequencies at them.



Figure 5 A component system with crossovers.

3.7.2 Subwoofers

The Subwoofers is, as hinted by the name, a speaker which operates below a regular woofer. The typical woofer covers frequencies below approximately 250 Hertz. A subwoofer covers frequencies below 100 Hertz.

The subwoofer is made of two principal parts, the speaker and the enclosure. We will start by looking at the enclosure. There are three main types of enclosures; the sealed enclosure, the ported enclosure and the band pass enclosure.

The sealed enclosure is just that: it has the best and most exact bass reproduction. It is

especially good at frequencies below 20 hertz. The downside is that it has a rather poor efficiency, and efficiency is usually rather important in cars since the power amplifier in the head unit is not very powerful. A car audio system that incorporates subwoofers often contains an additional, separate power amplifier.

The ported enclosure has a hole in the box, which makes it more efficient at lower frequencies since it has an extra air mass in the hole. The speaker cone does not have to move as much as it normally would, and thereby the efficiency increases. At the speaker's resonance frequency, the speaker cone hardly moves at all.



Figure 6 A ported box.

The upside is that you can turn up the low frequencies and get more bass and you have greater efficiency than the sealed enclosure. The downside is that it has very poor performance at very low frequencies.

In the case of the band pass box, you have the speaker element in one cavity and then connected to that you have a ported cavity to the outside. This is even more efficient than the ported speaker, but it sounds worse.



Figure 7 A band pass enclosure.

When it comes to choosing a subwoofer the above are your basic options. Which type you would want depends on the subwoofer's intended usage. The closed box sounds best but is also the weakest. If the amount of bass is important, you would go for the band pass box. The ported enclosure sits somewhere in between.

The subwoofer speaker is actually a regular speaker, but since it is used for low frequencies it must move more air and be able to handle a larger cone displacement. To move air the speaker must be big. The most common are 10" and 12" subwoofers but there are both smaller and bigger speakers available. Since they are bigger they are also heavier and need a stronger magnet. Sometimes they also have dual voice coils. The reason for that is that you can wire both channels to the same subwoofer using a stereo source.

The low frequencies are non directional so you if you have a subwoofer speaker in free air the back wave will cancel out the front wave of the speaker so you will need to mount the driver in some kind of box.

3.7.3 Speaker placement

In most cars, the speakers are mounted in the front doors down where you have your feet.

This is not optimal of course since we use our ears to hear. A better place to put the speakers is on the dashboard. This though might put the listeners too close to one of the speakers such that the stereo image is lost. The remedy for that is to raise the level of the other speaker or to put a delay on the closer speaker, but if you do that you can only have a good sound on one position at a time so you would have to compromise in order to get an acceptable sound image in the entire car.

Another way is to spread out the sound as much as possible. If you have separate tweeters and mid frequency speakers you can keep the mid and low frequency speakers down by the feet and place the tweeters up on the dashboard in order to get the sound up to your ears. A quite common scenario is to have high and mid frequencies up on the dashboard and the woofers in the rear dashboard or four full range speakers, two in the front doors and two in the rear dashboard. Using the rear dashboard for woofers can also bring some advantages since you can, in some cases, skip the enclosures on the woofers and use the trunk as a speaker enclosure instead.

The subwoofer can be tricky to place. Because of its size you are mostly limited to the trunk and if you are lucky that works, if you are not the bass might cancel out due to reflections. Then you might experiment, pointing the speaker in different directions or try phase shifting or sticking the speaker under a chair.

3.8 Surround Sound in Cars

The DVD format is now also finding its way into cars and with DVD-video and especially DVD-audio 5.1 channel systems are coming to cars. To get 5.1 audio in the car you need five speakers and the subwoofers. Usually this is pretty easy to achieve in a car since anyone interested in getting 5.1 surround in their car generally already have an interest in audio and therefore should have a good system to start with.

A regular high end car audio system has four speakers and subwoofer in the car. What you need to add are the center channel and a new amplifier and decoder.

If you only want a better sound in the car, you might settle for Dolby pro logic II capable head unit and can skip the separate Dolby digital amp.

The most complicated thing to add is the center speaker since the mid console does not have room for an extra speaker. If you do not have room, you might be able to cut a hole in the dashboard and put it in there.

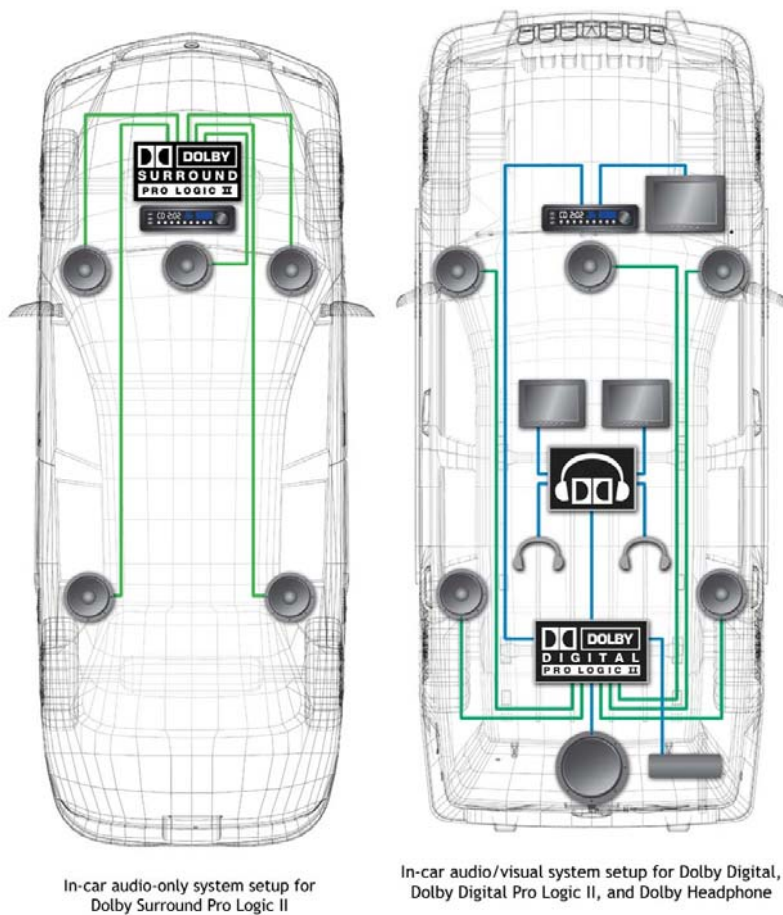


Figure 8 Pro logic II setup (left) and Dolby digital setup(right).

3.9 More on Dolby Pro Logic II

3.9.1 How it works

To understand the decoder, it is useful to see how four original source audio signals are encoded into the two program channels, which eventually feed the decoder. These signals are called Lt and Rt, for left total and right total. (Total means they contain all the encoded audio channels, not just left and right.) see Figure 9.

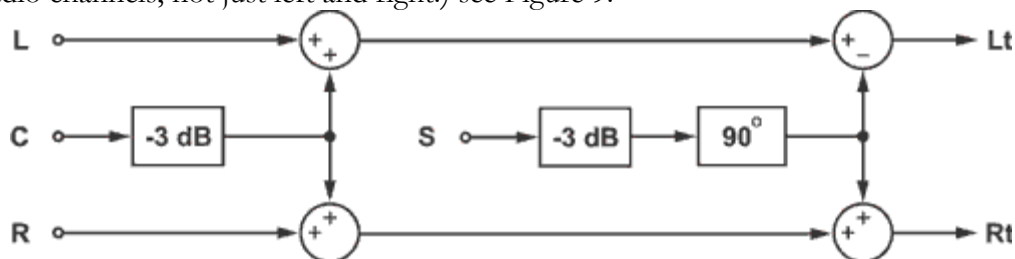


Figure 9 Simple four-input encoder concept.

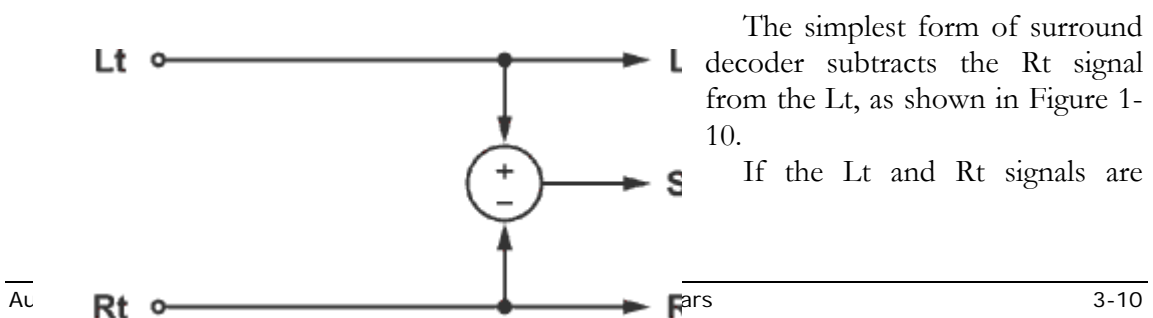


Figure 10 Simple passive surround decoder concept.

The simplest form of surround decoder subtracts the Rt signal from the Lt, as shown in Figure 1-10.

If the Lt and Rt signals are

random (not purely C or S), the Lt-Rt process will produce the difference signal at the S output. As a result, it is impossible for any sounds panned away from dead center to be removed from the S output. The channel separation between front and surround signals can be as low as 3 dB in a passive decoder.

The job of an active decoder like Pro Logic II is to keep a dominant signal such as dialogue from leaking from the surround speakers whether it is directly in the center channel, slightly off center, or even panned all the way to the full left or right of the soundstage. For example, if dialogue is placed “half right” (at the same levels into the C and R inputs of the encoder in Figure 9), the passive L-R decoder will not cancel all the dialogue in the surround output because the level of dialogue in Lt is lower than the level in Rt.

To make full cancellation occur in the S output, the amounts of dialogue in Lt and Rt

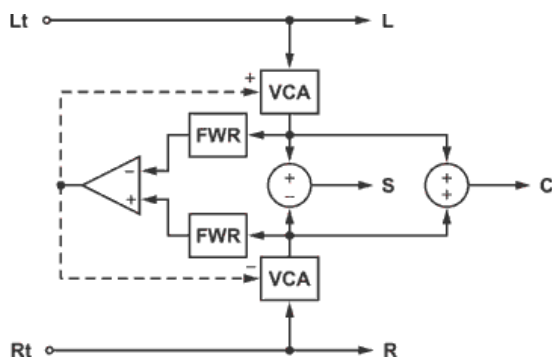


Figure 11 Decoder with VCA balancing servo

feeding the S channel decoder need to be made equal. This can be done by putting VCAs into the Lt and Rt signals feeding the subtraction stage, and adjusting their gains in opposite directions from a common control signal. As the gain rises in one VCA, it falls in the other. By adjusting this control precisely, the leakage of any dialogue signal panned anywhere between L and R (including C) can be completely eliminated from the S output. To automatically maintain the balance of the two signals feeding the subtraction stage under dynamically changing signal conditions, a feedback “servo” circuit compares the levels of these two signals after full-wave rectification (FWR), and adjusts the VCA control to force them to be equal (see Figure 12).

By creating a feedback system around the logic steering process, certain benefits can be attained:

The anti-phase signals feeding the output matrix can be matched to the unwanted crosstalk signal levels with high precision and low circuit complexity, thereby ensuring high channel separation.

The steering logic control time constants are within a feedback loop, so as the loop gain changes, so does the response time. Dynamically, there is a greater “speed to smoothness ratio” than is possible in a feed-forward system, leading to an ideal balance between fast action and stable operation while using relatively simple circuitry.

3.9.2 Results

The end result is that the Pro Logic II decoder can process any kind of source material without changing the core logic steering parameters. Since movies often contain music to a significant degree, a decoder needs to handle dialogue, music, and effects equally well without creating side effects.

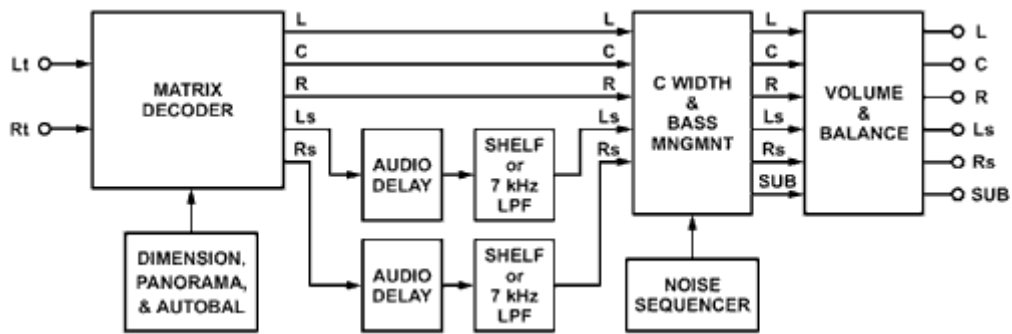


Figure 12 Basic decoder system block diagram.

Pro Logic II has a decoder structure basically identical to Pro Logic except for the stereo surrounds, as shown in Figure 12. Pro Logic II includes a bass management feature to derive a proper subwoofer feed or to allow bass to be reproduced from the main speakers, as appropriate for the application.

3.10 The Future

There is no doubt that digital technologies such as digital surround sound, DVD, digital radio, full range digital amplifiers and digital video will become more common in cars as the technology matures and becomes more affordable. However, there is a risk that all the sound and displays of the car entertainment system become too distracting for the driver. An important question to ask is what will happen to car audio when gasoline is replaced by renewable energy sources. Will those cars have enough power to power a full-featured entertainment system with surround sound, subwoofers, amplifiers etc.? It is possible that we will see a decrease in the amount of entertainment equipment available in cars, at least initially.

3.11 References

Watkinson, J., *The Art of Sound Reproduction*, Chapter 6, Focal Press (1998)

Rayfes Mondal, *Car Audio*, <http://www.carstereo.com/rayfes> (2000)

MacKinnon, D, Of Sound Mind <http://www.ofsoundmind.com/main.htm> (1997)

Alan Frazee, Car Audio Guide <http://www.afweb.net/carstereo/> (2002)

Chinn, R., The Effect of Car Acoustics on Automobile Sound Systems – The Problem and a Solution, AudioControl Technical Paper no. 101, url: <http://www.audiocontrol.com/techpapers/techpaper101.pdf> (1986)

Gibbs, S., Got Juice. Making Sure Your Audio System Gets Plenty of Power, url: http://caraudio.primediaautomotive.com/archives/spfeatures/0702_spfeatures01.shtml (2002)

Clarion VRX925VD Product Description, url: <http://www.clarion.com/products/multimedia/multi1.htm> (2002)

Azzali, A. et al, Design and implementation of Psychoacoustics Equalizer for Infotainment, DSP Application Day, Politecnico di Milano, url: <http://www.lim.dsi.unimi.it/eventi/DSPApp/docs%5C7.pdf> (2002)

Dressler, R., Dolby Surround Pro Logic II Decoder Principles of Operation, url: <http://www.dolby.com/tech/l.wh.0007.PLIIops.html> (2002)

Deckert, S., Secrets of Car Audio, url: <http://www.decware.com/secrets.htm> (1996)

3.12 Who Did What

Agustin wrote section 3.5 The Head Unit and 3.9 More on Dolby Pro Logic II.

Fredrik wrote 3.2 Overview – The Layout of a Car Audio System, 3.7 Speakers and 3.8 Surround Sound in Cars.

Jonas wrote 3.1 Introduction, 3.3 The Acoustics of Car Audio, 3.4 The Electrical System, 3.6 Amplifiers and 3.10 The Future.

4. Ljudet i Globen

Niklas Elmehed, Veronika Mattsson, Björn Stenberg, 2003

Globen är världens största sfäriska byggnad och har under åren stått värd för de mest skilda arrangemang – allt från ishockeymatcher, friidrottsevenemang och hästhoppning till opera och stora klassiska eller rockkonserter. Arenans utformning och användningsområden gör det mycket intressant att studera dess ljudsystem och akustik. Ljudsystemet måste på grund av de vitt skilda användningsområdena kunna anpassas för att uppfylla de olika krav som ställs. Hur skiljer sig ljudet på en konsert och en ishockeymatch? Globens sfäriska form och stora volym ger i sig upphov till problem vad gäller akustik och ljudförsörjning. Här behandlas ljudet och akustiken i Globen, Globens högtalarsystem och vad som sker då det befintliga ljudsystemet inte räcker till.

4.1 Akustik och dämpning

Det som framförallt är speciellt för akustiken i Globen är att det rör sig om en ovanligt stor rumsvolym. Med en diameter på 110 meter är Globen världens största sfäriska byggnad. Takhöjden är som mest 85 meter och arenavolymen är hela 600 000 kubikmeter. I Globen är de översta bänkraderna på 25 meters höjd. Som jämförelse är 18 meter en hög, men ändå ganska vanlig takhöjd på andra arenor. Detta är betydligt lägre än de övre läktarna i Globen. Förutom att det är svårt att anpassa ett ljudsystem som täcker hela området, medför storleken i sig och takets form en del andra akustiska problem.

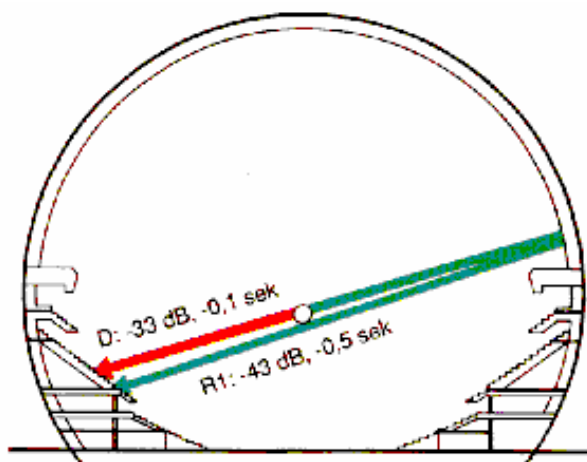


4.1.1 Tidiga beräkningar

I samband med byggandet av Globen fick Tunemalm Akustik AB i uppgift att ansvara för de akustiska beräkningarna. Man studerade upp till 100 000 reflexer för varje ljudkälla-placering i avancerade CAD-program, för att skapa sig en uppfattning om den totala ljudbilden. Trots att beräkningarna var mycket noggranna visade det sig att vissa av teorierna inte stämde riktigt överens med verkligheten. Till exempel hade man räknat med att det skulle bli bra direktljud i hela lokalen, även på de läktare som befinner sig under överhäng som bildas av andra läktare. Teoretiskt sett borde ljudvågorna nå dit upp, men i praktiken blir ljudbilden något förvrängd vilket man har kompenserat genom extra högtalare som täcker dessa positioner.

4.1.2 Störande reflexer

De stora avstånden mellan olika väggar, läktare och tak ger upphov till sena och därför störande ekon. Tiden det tar för direktljudet att nå en åskådare varierar något mellan olika positioner, men det rör sig om cirka 0,1 sekunder. Ljudreflexen från en punkt på motsatt läktare är ungefär 0,4 sekunder försenad men endast 10 dB svagare, se . Denna reflex är mycket störande och måste därför dämpas bort. Det framkom tidigt att lokalen måste anpassas för enbart direktljud och strävan är att alla reflexer ska dämpas bort. Efterklangstiden varierar mellan 1,7 sekunder vid 4000 Hz och 5,3 sekunder vid 125 Hz.



Figur 4-1: Stora avstånd i Globen ger besvärande fördröjningar.

4.1.3 Taket

Det som kanske är mest speciellt med Globens utseende är det stora kupolformade taket. Det ligger högt ovanför scenen och läktarna, men innertaketets form gör att ljudreflexer som inte dämpas fortplantar sig snabbt och blir extremt störande. I mitten av lokalen, strax ovanför högtalarkorgen finns en punkt där mycket av ljudet fokuseras. Genom att placera en ljudabsorberande ”tunna” i den punkten tas mycket av reflexerna bort på ett effektivt sätt. Dessutom har hela kupoltaket, som annars skulle bestå av mycket reflekterande ytor, klätts med ljudabsorberande mineralull.

4.1.4 Väggar och läktare

I den undre delen av arenan är det svårare att dämpa bort reflexer. Väggar och läktare består till största delen av betong. Logerna på etage 8 har fönster och längs ena kortsidan finns en restaurang med stora lutande konkava glasrutor. Alla dessa hårda material reflekterar mycket ljud. Man har dock försökt att vinkla alla delar så att de ska ge så lite reflexer som möjligt för de vanligaste högtalarpositionerna. Det finns tjocka draperier som kan dras för restaurangens fönster, men det görs inte under till exempel ishockeymatcher för att även middagsgästerna ska kunna följa matchen.

Läktarstolarna har försetts med ljudabsorberande material. I de ursprungliga planerna var det meningen att stolarna skulle vara stoppade även på undersidan för att fungera som ljudabsorbenter också i uppfällt läge. Av ekonomiska skäl blev det inte så. Kanske tänkte man inte heller på hur det skulle påverka akustiken. Precis som när man målade de ljudabsorberande väggarna med ett tjockt lager röd färg som tog bort dess dämpande effekt...

4.1.5 Evenemang

Olika evenemang ställer olika ljudmässiga krav. Scenplaceringar och antalet besökare har stor inverkan på ljudet. När det är många tomma platser bildas besvärande mycket reflexljud eftersom en människokropp fungerar som en god ljudabsorbent. Ljudbilden blir påtagligt annorlunda beroende på hur fullsatt det är, och det är alltid lättare att skapa bra ljud när det är utsålt.

Hur mycket folk som får plats i Globen är beroende av evenemanget. Vid en konsert där scenen är placerad i mitten har Globen en publikkapacitet på 16 000 personer. Genom att ändra scenplacering kan man minska lokalen. Läktarna går också delvis att flytta på, vilket gör att man kan anpassa lokalen efter evenemanget och till viss del också efter antalet besökare. Ett problem är att det endast finns bra upphängningsmöjligheter i mitten av lokalen. Detta gör att det är svårt att hänga upp avskiljande skynken för att enbart ta bort några läktarrader. Läktarnas böjda form är också en försvårande faktor.

Golvet beläggs med olika underlag för olika evenemang, vilket naturligtvis påverkar ljudbilden. Is är ett material som är mycket ljudreflekterande och skapar därför mycket ekon. Oavsett evenemang vill man gärna placera högtalare så att så mycket av reflexerna som möjligt hamnar i taket där de lätt kan absorberas.

4.1.6 Störande ljud

Isoleringen mellan arenarummet i Globen och Annexet och angränsande loger och restaurang är god, men vid evenemang där det krävs tystnad bör aktiviteter i de andra lokalerna begränsas. Bakgrundsbuller från ventilationen och annan maskinell utrustning understiger 35 dB(A), men kan vid behov sänkas något ytterligare. Att ha ett tyst välfungerande ventilationssystem är mycket viktigt i en så stor lokal. Man har löst det genom att ta in ny luft uppfifrån som pressas ut genom dörrarna nere på läktarna. På så sätt får man en bra luftgenomströmning.

4.2 Det befintliga ljudsystemet

4.2.1 Kontrollrummet

När Globen byggdes 1989 fanns det inte med i planerna att det skulle finnas ett kontrollrum där ljud och bild kunde bearbetas; den detaljen hade förbisetts. Men innan bygget stod klart hade det gått upp för de ansvariga att för att kunna uppfylla tidens krav på ljud- och bildproduktion krävdes ett modernt kontrollrum varifrån ljudet i Globen kunde kontrolleras och enklare TV-produktioner göras.

Lösningen på problemet med ”det glömda kontrollrummet” var att man inredde en herrtoalett på etage 4 som kontrollrum. Kontrollrummet är centralt placerat på ena långsidan och har direktkontakt med arenan via fönster och en liten kamerabrygga. I kontrollrummet finns all centralutrustning för ljuddistribution till den stora högtalar-korgen i Globens mitt och till högtalare i övriga publika utrymmen såsom loger och foajéer.

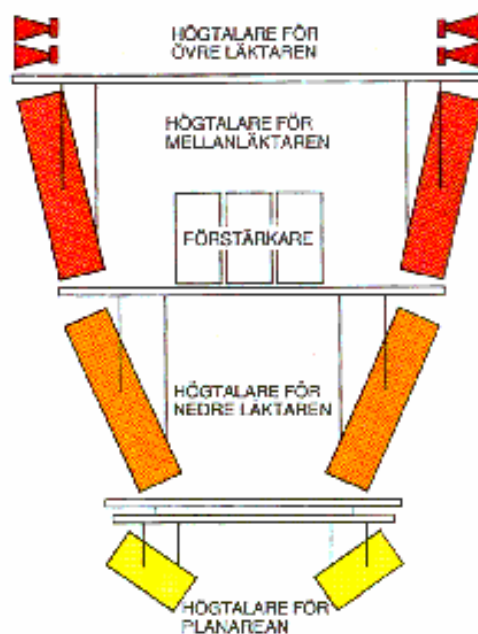
Globen har ett eget intern-TV-system som förser jumbotronen (den stora bildskärmen i arenans mitt) med bilder. Även TV-apparater i loger och foajéer visar dessa bilder. Evenemang i Globen bevakas alltid av kameror, placerade runt om i lokalen. Det är dessa bilder som vanligtvis visas i intern-TV-systemet. För att kunna producera dessa bilder har Globens kontrollrum även utrustning för bildproducering och redigering. De interna bilderna säljs ofta till TV, vid exempelvis ishockeymatcher.

Det går alltså att från Globens kontrollrum producera och sända TV-bilder och ljud, men vid större TV-sändningar från Globen, som ställer större krav på produktionen, produceras allt på externa system.

På grund av att Globens ljud- och bildsystem från början inte var särskilt väl genomtänkt har utrustningen kompletterats efterhand. Detta innebär att all apparatur är av olika tidsmodell och standard. Gammal analog teknik blandas med toppmoderna digitala system. Apparaturen blir följaktligen ganska svår att arbeta med då all utrustning har olika gränssnitt.

4.2.2 Högtalarkorgen

Den centrala delen i Globens högtalarsystem är den stora högtalarkorgen, placerad i Globens mitt ovanför jumbotronen men under teknikbryggan. Denna högtalarkorg inrymmer de stora högtalarna som försörjer Globens sittplatser med ljud. Högtalarkorgen innehåller i huvudsak fyra högtalargrupper som är individuellt anpassade för att förse olika delar av lokalen med ljud, Figur 4-2. För planarean finns ett system med sex högtalarlådor som vardera innehåller ett 18" element och ett 2" element med horn. För nedre- och mellanläktarna finns 16 högtalarlådor som vardera innehåller tre 18" element och två 2" element med horn. (åtta av dessa lådor är vinklade mot de nedre läktarna och åtta är vinklade mot mellanläktarna). Basen från mellanläktarnas högtalare har inga problem att nå även de övre sektionerna. För att komplettera diskanten, som inte når upp, finns fyra kombinationer med vardera två 2" horn. Totalt tar alla högtalare i högtalarkorgen emot en effekt på 40 000 W.



Figur 4-2: Den centrala högtalarkorgen.

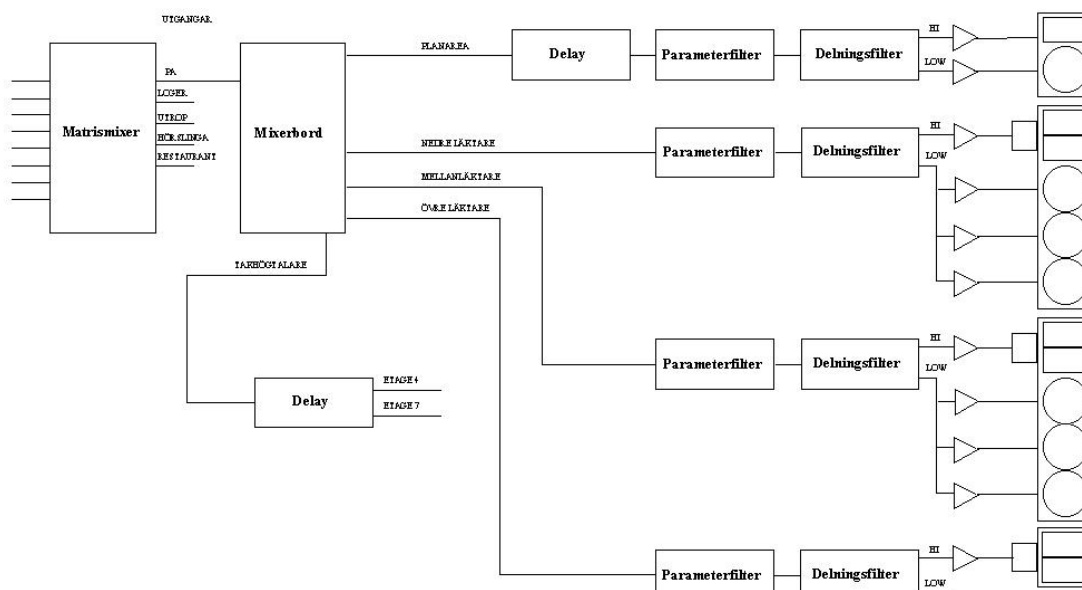
Alla dessa högtalare kan styras individuellt från kontrollrummet, men för att kablarna mellan kontrollrummet och högtalarkorgen ska nå fram krävs det längder på upp emot 300 meter. En så lång högtalarkabel har kraftigt försämrade inverkan på ljudet. Dessutom blir kabelns vikt i sig enorm och medför ytterligare viktbelastning på högtalarkorg och teknikbrygga. För att undvika dessa problem har man valt att även placera förstärkarna i högtalarkorgen. Man kan då göra högtalarkablarna betydligt kortare och istället låta signalkablarna vara långa. Dessa är mycket mindre och mer lätthanterliga, vilket gör att man undviker både viktproblem och ljudförsämring. Samtliga högtalare i högtalarkorgen är av märket JBL och matas av QSC-förstärkare.

Placering och dimensionering av högtalarna i högtalarkorgen är utarbetad för att alla element ska vara på samtidigt. Högtalare vars primära uppgift är att förse mellansektionerna med ljud har stor inverkan även på ljudet i övriga delar av lokalen. Högtalarnas placering är anpassad för att komplettera varandra och tillsammans bygga upp en komplett ljudbild. Om ett element kopplas bort tappar man stora delar av ljudbilden i hela arenan. Detta innebär att även evenemang som har en liten publik koncentrerad till en viss yta måste använda alla högtalare i korgen.

4.2.3 Övriga högtalare

Läktarnas utformning i Globen är ljudmässigt problematisk. Den första egenheten som ställer till problem är att sidoläktarna i Globen är så höga att det är svårt att få ljudet att räkka dit upp. Detta avhjälpas med ett separat övre ljudsystem, se nedan. Utskjutande läktare ger dessutom överhängande kanter vid etage 4 och etage 7. Det är svårt för ljudet från högtalarkorgen att nå in under dessa kanter. Huvudhögtalarna kompletteras här med ett antal takhögtalare som framför allt fyller på med de höga frekvenserna, då de låga frekvenserna från huvudhögtalarna tränger in relativt bra. Förutom dessa takhögtalare finns små stereohögtalare i foajéer och loger.

4.2.4 Ljudsystemet



Figur 4-3. Förenklad schematisk bild över Globens ljudsystem.

Förutom ett nyinsatt system för de övre sektionerna är hela Globens ljudsystem, mellan mixer och högtalare, analogt, se Figur 4-3.

Insignalerna kommer i digital form in till en digital matrismixer som fördelar signalerna till olika undersystem. Insignalen till denna mixer kan komma från till exempel PA-anläggningen, mikrofoner runt omkring i arenan, CD, speakerbåset, utrop av olika slag från kontrollrummet samt nödutrop. Matrismixern bearbetar signalen olika beroende på vart den ska skickas och fördelar sedan ut den på utgångarna. Signalerna skickas bland annat till loger, hörslingor och till restaurangen, men den mest intressanta signalen är den som går vidare till Globens PA-anläggning, det vill säga högtalarna i arenan. PA-signalen, som nu har passerat en D/A-omvandlare och är analog, går vidare till ett analogt 32-kanaligt mixerbord (Allen & Heath).

I mixerbordet bearbetas signalerna ytterligare för att sedan delas upp på PA-systemets olika högtalare. Signalen passerar sedan igenom ett parameterfilter och ett delningsfilter som delar signalen vid 1200 Hz. I vissa fall (takhögtalarna och planareahögtalarna) passeras även ett delay som anpassar signalen så att ljudet tidsmässigt stämmer överens med direktljudet. Efter delningsfiltret går signalen genom den cirka 300 meter långa kabeln till förstärkarna i högtalarkorgen och sedan vidare till högtalarna.

Att ljudsystemet är analogt har vissa fördelar, bland annat påverkas driftsäkerheten positivt. Låt säga att ett delningsfilter går sönder. Då finns många andra filter som inte används för tillfället eller som har kapacitet att ta över det trasiga filtrets roll. Allt som behövs då är att byta filter genom omkoppling av några sladdar i kontrollrummet. Om istället ett helt digitalt system hade använts hade ett haveri inneburit katastrof, då man inte gärna har ett annat exakt likadant ljudsystem som back-up.

I allmänhet är Globens ljudsystem driftsäkert. Merparten av utrustningen har funnits sen Globen byggdes 1989 och fungerar fortfarande utan problem. Efterhand har viss utrustning bytts ut på grund av att det blivit svårare att få tag på reservdelar. Slutstegen i Globen har dock funnits sen invigningen och hittills har inget gått sönder.

4.2.5 Det övre ljudsystemet

Trots att högtalarna i högtalarkorgen är anpassade för att nå upp till de övre läktarna är det svårt att få samma ljudstyrka och kvalitet där som på övriga läktare. För att komma till bukt med det problemet har det på senare år tillkommit ett nytt ljudsystem som

kompletterar det gamla. För de övre sektionerna, på etage 7, finns idag ett system som bygger på sex högtalarkluster, tre på varje långsida med jämna mellanrum och riktade mot publiken. Vardera högtalarkluster innehåller tre stycken Martin högtalare. Dessa högtalare sitter så placerade att de bara försörjer de övre etagen. Detta relativt nyinsatta system är, till skillnad från resten av systemet i Globen, helt digitalt. Detta innebär att all filtrering och fördröjning sker digitalt. De 18 högtalarna kan styras helt individuellt och anpassas för att på bästa sätt återge ljudet från det aktuella evenemanget. Med detta system som komplement till högtalarkorgen kan en relativt bra ljudbild åstadkommas även på de övre läktarna som i förhållande till många andra arenor är extremt högt upp.

4.3 När det befintliga ljudsystemet inte räcker till

Även om Globen har ett befintligt ljudsystem som är mycket kraftfullt är det många evenemang som kräver att extra ljudutrustning hyrs in. Musikevenemang som rockspelningar, musikalerna och konserter med klassisk musik har alla mycket stora och olika krav på ljudanläggningen. Vanligast är att man turnerar med egen utrustning, anpassad till sina egna krav och de arenor som man ska besöka. I dessa fall används ingen eller endast en liten del av Globens befintliga ljudanläggning.

4.3.1 Scenplacering

Globens nedre sittplatssektion utom den ena halvan av långsidan går att skjuta in helt under de övre sektionerna. Detta möjliggör några olika alternativ när det gäller scenplaceringen. Det vanligaste är att man placerar scenen i ena kortändan av arenan, men vid evenemang som kräver en stor scen kan den placeras på ena långsidan. Stora dansföreställningar som exempelvis Riverdance kräver en större scen.

En annan mycket viktig faktor som påverkar scenplaceringen är hur mycket av ljud- och ljusanläggningen som ska hissas upp och fästas i takets kontrollbrygga. Kontrollbryggan är fäst i väggarna runt om, en liten bit ovanför Globens ekvator, cirka 35 meter ovanför golvet. Bryggan hålls dessutom upp av ett vajersystem med fästen i en rund cirkel högre upp i taket. Denna cirkel av vajerfästen kallas för polcirkeln.

Globens tak tillåter en belastning på 250 ton plus snö utanpå taket. De fasta installationerna väger 210 ton vilket lämnar 40 ton till extra utrustning. Många av artisterna som hyr Globen reser runt med enorma ljusriggar och monitorer till sin scenshow som många gånger väger mycket mer än 40 ton. Väljer man att placera scenen långt in i ena kortändan och att dessutom utnyttja takets belastningsgräns till max blir viktfordelningen ojämn i takets kontrollbrygga, eftersom utrustningen hänger i anslutning till scenen. För att undvika katastrofala olyckor med havererad kontrollbrygga balanserar man tyngden från scenutrustningen med motvikter i den andra kortändan. Motvikterna gör att man antingen måste ta ner en del av scenutrustningen för att minska totalvikten eller flytta scenen närmare mitten. Då återfås balansen i kontrollbryggan och behovet av motvikter minskas. Det som talar emot det senare är att det då går in färre åskådare och man förlorar biljettintäkter.

4.3.2 Högtalarnas placering

Varför vill man då hissa upp så mycket av anläggningen i taket? Fram till i början av åttiotalet var det vanligast att man placerade högtalarna på scenen. Ljudet sköts sedan rakt in i och över publikmassan för att även nå de bakre delarna av arenan. Det finns framförallt två nackdelar med att göra på detta sätt.

Den ena är att en stor del av ljudet passerar ovanför publiken där det till slut stöter på

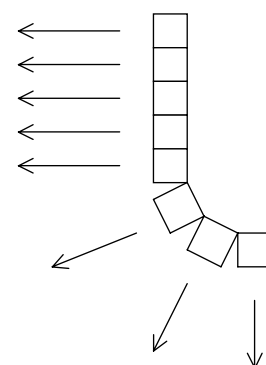
slutet av arenan. Ofta är det en vägg vilken reflekterar ljudet tillbaka till scenen och skapar ett obehagligt eko. I Globen är det en restaurang placerad i motstående kortsida med stora panoramafönster, dessa reflekterar ljudet tillbaka till scenen med 0,4 sekunders fördröjning. Restaurangens panoramafönster kan dock täckas för med gardiner för att dämpa bort reflektionen.

Den andra nackdelen beror på att ljud avtar med 6 dB i luft varje gång man dubblar sitt avstånd till högtalarna. Om man går en meter från högtalarna dämpas ljudet med 6 dB, vid två meter minskas det ytterligare 6 dB och så vidare. Om man exempelvis befinner sig 64 meter från scenen har ljudtrycket dämpats 42 dB. Man måste därmed ha en mycket hög ljudstyrka vid scenen (med hörselskador som följd) för att publiken längre bak ska kunna höra någonting överhuvudtaget.

Om man istället hissar upp högtalarna en bit i taket minskar avståndsskillnaderna till ljudkällan mellan de främre och bakre delarna av publiken. Det innebär att skillnaderna i nivå inte blir lika stora. En annan fördel med att hissa upp högtalarna i taket är att man då kan skjuta ljudet rakt ner i publiken. Mänskliga kroppar är ljudabsorbenter, vilket gör att en stor del av ljudreflexerna kan undvikas.

Även om man hissar upp högtalarna i luften och skjuter delar av ljudet neråt mot publiken på golvet måste man ta hänsyn till publiken runt om, på läktarna. Publiken som befinner sig allra längst bort är de som sitter på scenens motstående kortände. Högtalarna måste därför ha ett högt ljudtryck i den riktningen för att kompensera för dämpningen i luftfärden.

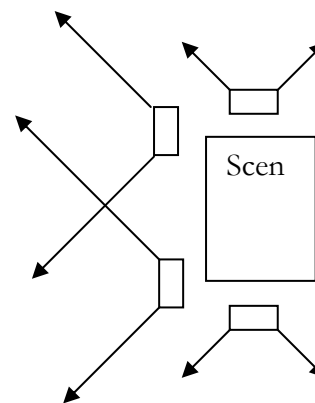
En vanlig lösning är att använda sig av ”bananupphängning” av högtalarna, Figur 4-4. ”Bananupphängning” bygger på att man alltid låter högtalarnas bakre ändar ligga mot varandra. Genom att variera avståndet mellan de främre ändarna kan man också variera ljudtrycket i en viss riktning. Om man tittar på *figur 4* är de fem översta högtalarlådornas främre och bakre ändar placerade mot varandra. Dessa högtalare samarbetar på ett optimalt sätt, likt en enda stor avlång högtalarkon. Det medför ett koncentrerat ljudtryck som skickas i riktning mot den motstående kortsidan. Om man sedan ökar avståndet mellan högtalarlådornas främre ändar sprids ljudriktningen och därmed minskar koncentrationen och ljudtrycket. Dessa högtalare skjuter sitt ljud ner i publiken som står närmre och därmed inte behöver lika mycket initialt ljud. Detta illustreras av de tre undre högtalarlådorna i figuren.



Figur 4-4: Så kallad ”bananupphängning” av högtalarpelare.

Man brukar hänga flera ”bananer” bredvid varandra som tillsammans skapar ett stort kluster. På var sin sida om scenen brukar två sådana stora kluster hängas upp i taket. Dessa skjuter sitt ljud rakt ut från scenen vilket illustreras av *figur 5* till höger. Dessa två högtalarkluster kompletteras av två sidosystem som förser arenans sidopublik med ljud.

Ett problem som är unikt för Globen är att publiken på sidoläktarnas översta sektioner sitter mycket högt ovanför marken jämfört med andra arenor. De flesta turnerande sällskap har inte ljudanläggningar som kan ge direktljud till de översta sektionerna. Globen har därför försetts med ett befintligt digitalt system med sex



högtalarkluster som vardera består av tre högtalarlådor. Klustrena kan tillsammans ge en förhållandevis bred ljudbild även till de övre sektionerna.

4.3.3 Variationer i ljudkvaliteten på olika åskådarplatser

I regel är det mycket hög kvalitet på ljudanläggningarna som de turnerande evenemangen har med sig. Skillnader i ljudkvalitet på konserterna beror därför nästan alltid på personen som mixar ljudet. Det krävs stor erfarenhet och kunskap hos ljudteknikern som mixar för att få bra ljud på alla platser i Globen. Ett typiskt problem i Globen beror på att en så stor del av publiken befinner sig på arenans långsidor. Man kan delvis avhjälpa detta genom att vinkla båda högtalarklustren som spelar rakt ut från scenen mot långsidorna. Vinkeln får dock inte bli för stor eftersom ljudbilden då försämras på parkett och motstående kortända.

Det vanligaste sättet att ge alla sittplatser på långsidorna bra ljud är att låta ljudloben från scenens sidohögtalare ligga kant i kant med loben för fronthögtalarna. På så sätt får även publiken på hela långsidan direktljud. Även här kan problem uppstå. Om ljudloberna från ena front- och sidosystemet hakar i varandra kan avståndet mellan systemen ge upphov till fasförskjutning. Detta kan resultera i förstärkningar och dämpningar i vissa frekvensområden med dålig ljudkvalitet som följd.

4.3.4 Ljudet i Globens andra rum

För att man ska kunna spela upp ljudet från konserterna i Globens loger, restaurang och VIP-rum måste ljudet tas upp av mikrofoner. Därefter måste det mixas för TV och stereoapparater innan det skickas ut på andra högtalarsystem. När Globen var nybyggd och några år därefter tilläts inte detta eftersom man var rädd för spridningar av piratinspelningar av konserterna. Man fick då lösa problemet med att få in ljud i dessa rum genom att öppna fönstret. Problemet var att fönsterkonstruktionen endast tillät en liten öppningsglipa och ljudkvaliteten blev således dålig i dessa rum. Förbudet med ljudupptagning under konserter luckrades sedan upp och eftersom inga piratinspelningar har spridits från Globens egna ljudupptagningar är det i regel tillåtet att göra dessa idag.

4.4 Källor

4.4.1 Internet

Stockholm Globe Arena, www.globearenas.se

Tunemalm Akustik, www.tunemalm.se

4.4.2 Övriga källor

Guidat besök på Globen och intervju med Mats Tidstrand, arenatekniker.

Projektdokumentation från Tunemalm Akustik.

5. Ljudet på Cosmonova

Ulrika Wennström, Peter Fagerlin, Björn Gustafsson, 2002

Vi har i kursen Audioteknik studerat ljudet på storbildsbiografen Cosmonova. Vid ett studiebesök ute vid Naturhistoriska Riksmuseet vid Universitetet, träffade vi chefstekniker Björn Hedén som visade oss runt i kontrollrummet och i salongen samt bakom den välvda filmduken. Vi fick tillfälle att studera tekniken bakom ljud och bild och ställa frågor om systemen. Detta är en sammanställning av vad vi fick lära oss.

5.1 Filmljudets historia

Från början användes helt passiva system för ljudinspelning och ljudåtergivning. Den begränsade möjligheten att ta upp, mixa och återge ljudet gjorde att endast mono återgivning var möjlig. I och med att radorören introducerades i början av 1900-talet öppnades nya vägar inom ljudtekniken.

På 1930-talet introducerades stereoåtergivning vilket gav helt nya möjligheter till realistisk ljudåtergivning. Företrädare för filmindustrin drev på utvecklingen för att hitta system som mer realistiskt kunde återge ljudeffekter och som samtidigt var anpassade för stora lokaler.

Ett pionjärarbete gjordes av Disney i och med filmen *Fantasia* från 1939. *Fantasound* som tekniken döptes till var helt ny fick så man fick frakta runt utrustningen mellan biograferna där filmen visades. Filmen (och ljudet) blev en stor succé, men dessvärre kom andra världskrigets utbrott emellan och turnén avslutades i förtid.

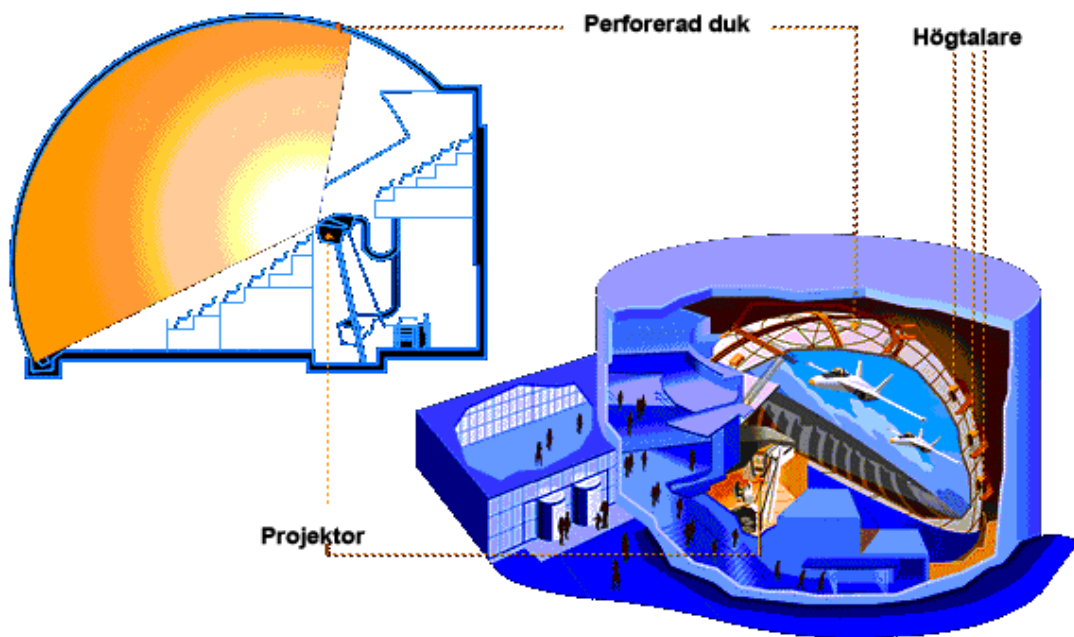
På 1950-talet gjordes en del mer eller främst mindre lyckade försök med magnetiska ljudspår på filmen. *Quadraphonic surround* introducerades på 1970-talet men dålig funktion och en mängd inkompatibla system gjorde att dessa aldrig fick något genomslag. Strax därefter gjordes ett försök att introducera *Ambisonics surround system* som har stora fördelar, men det tidigare fiaskot med *Quadraphonic surround* gjorde att detta misslyckades. *Dolby* som sedan en längre tid arbetat med brusreduceringssystem kom att lansera *MP Stereo* i och med premiären för *Star Wars* 1976. *MP Stereo* var ett analogt matrissystem som hade den stora fördelen att vara kompatibelt med tidigare stereosystem och blev därigenom det första surroundsystem som fick någon större spridning.

Dolby Pro Logic som idag är standard i konsumentprodukter kom 1988 och har sedan vidareutvecklats och heter idag *Pro Logic II*. I och med att elektroniken vidareutvecklats och kraftfulla digitala signalprocessorer (*DSP*) sett dagens ljus har digital ljudbehandling blivit standard. Efterföljaren till *Pro Logic* är *Dolby Digital* som i standardversion har fem kanaler med full bandbredd och en effektkanal med reducerad bandbredd.

5.2 Cosmonova innanför väggarna

Vi har valt att studera ljudet på Cosmonova vilket är Sveriges enda *IMAX* - biograf där man kan uppleva filmer gjorda i världens största filmformat. Det finns tre typer av *IMAX* - biografier varav Cosmonova är av *Dome*-typ, vilket innebär att den består av en gigantisk perforerad kupolformad duk som är 760 kvadratmeter stor, 11 meter hög och 23 meter i diameter. Ljudsystemet är 6-kanaligt med en total effekt på 15200 Watt. Biografen har plats för 289 åskådare och man visar både filmer och planetarieföreställningar tisdagar-söndagar hela året om.

IMAX DOME



Cosmonova byggdes 1992 till en kostnad av 42 miljoner, varav hälften gick till byggnaden och andra hälften till utrustningen. Av den senare delen gick det mesta till projektorn. Det finns 220 IMAX - biografier i 30 länder runt om i världen. IMAX -Dome projektorer tillverkades endast i 80-90 exemplar i hela världen och har nu slutat att produceras. Numera tillverkas endast IMAX 3D som inte har kupolformad duk utan är avsett för plan duk.

I början visades enbart planetarieföreställningar på Cosmonova, men allmänheten hade svårt att begripa sig på dessa. De upplevde föreställningarna som konstiga filmer utan handling. Senare började man även visa spelfilmer av olika slag men framförallt faktafilmer. Dessa är mycket uppskattade och utgör idag huvuddelen av föreställningarna. Normalt brukar man köra 6-7 filmer som visas olika tider varje dag, och byta ut dessa efter någon tid. I dagsläget finns över 180 filmer gjorda i IMAX - formatet. Planetarieföreställningar visas en gång om dagen på vardagarna. Det är framförallt skolklasser och andra grupper som ser dessa.

5.3 IMAX

5.3.1 Introduktion

Namnet "IMAX" kommer från engelskans "image maximum." Ljudkvaliteten är av högsta betydelse då man tittar på en IMAX film. Det sexkanaliga hi-fi systemet marknadsförs av Sonics Associates Inc. vilka är världsledande då det gäller design av ljudsystem. Högtalarsystemet är speciellt designat för Omnimax-teatrar och eliminerar variationer i volymen och ljudkvalité runtomkring i teatern. Detta gör så att man kan njuta av superbt ljud oavsett var man sitter i lokalen.

5.3.2 Historia

IMAX systemet har sina rötter från EXPO'67 i Montreal i Kanada i vilken multi-screenfilmer var den stora nyheten. Det var för otympligt att använda sig av multipla

projektorer, så en liten grupp med kanadensiska filmmakare/entreprenörer (Graeme Ferguson, Roman Kroitor and Robert Kerr), vilka hade gjort dessa filmer beslutade sig för att designa ett nytt system med hjälp av endast en kraftfull projektor. Resultatet blev IMAX motion picture projektions system vilket skulle revolutionera storduks biografer. Premiären för IMAX skedde under EXPO'70 i Osaka i Japan. Det första projektionssystem som uppfördes var i Ontario Place's Cinesphere Toronto i Kanada 1971. Sedan byggdes ett antal varav debuten för IMAX Dome (OMNIMAX) invigdes vid Reuben H. Fleet Space Theatre i San Diego, Kalifornien 1973. IMAX digital system utvecklades av Sonics Associates Inc. i Birmingham i Alabama 1988.

Lynn McCroskey och Jim Cawhon utvecklade ett system vilket de kallade för Digital Disc Playback System (DDP). Med detta system spelade man in 2 kanaler med okomprimerat digitalt ljud på en CD. Man började använda sig av systemet med 3 stycken CD-skivor och 6 kanaler, och det kom mer och mer att ersätta multispårs magnetbands ljudsystem som hade använts i IMAX teatrar sedan 1971. 1993 introducerade Sonics Associates Inc. IMAX 3D systemet i Sony IMAX Theatre i New York, vilket hade 10 kanaler. Högtalarna i lokalen återgav 8 stycken kanaler från 4 CD-skivor vilka var synkroniserade med perfoband med 48 bildrutor i sekunden. Cosmonova använde sig också av samma typ av system, 8 kanaler och perfoband för synkronisering i begynnelsen 1992 då de öppnade. Nuförtiden använder de sig bara av dessa band för backup. När man tidigare använde sig av bandenheten för att spela upp ljudet, visade det sig att det inte var tillräckligt tillförlitligt. Vid ungefär 5 % av föreställningarna gick någonting snett, och de var tvungna att starta om systemet.



IMAX 3D huvudgarnityr (Sonics)

5.3.3 Föregångare till dagens system

Lynn McCroskey och Jim Cawhon utvecklade också ett huvudgarnityr för 3D (figuren ovan) vilket hade två extra kanaler för den binaurala personliga ljudomgivningen (Personal sound environment, PSE). Det fungerar på följande sätt: Binauralt ljud strömmar från två stycken högtalare som sitter lite ovanför och framför öronen. De återger alla hörbara frekvenser över 100 Hz. De lågfrekventa signalerna återges av subwoofers bakom duken. Sedan finns det ytterligare 4 stycken högtalare som omfattar hela frekvensomfånget bakom duken. De får ljudet att knyta an till filmens händelser även om man vrider på huvudet. Vissa personer har problem med att höra binauralt, och då kommer dessa högtalare att förhindra ljud framifrån från att verka komma från sidorna eller bakifrån. Det finns ytterligare två stycken högtalare i lokalen, vilka är placerade långt bak. Dessa bär endast med sig surroundomgivningen, och de högtalarna som finns i garnityret kommer att återge det ljud som skall komma bakifrån. 8 kanaler på 18000 watt i ett 10-kanaligt förstärkar-system matar högtalarna, de andra två kanalerna matar binaurala signaler till garnityren. Dessa förstärkare matas från 4 stycken CD-spelare, vilka är synkroniserade av en dator. Garnityren kan ta emot fyra stycken separata ljudspår vilket innebär att man kan visa en film på olika språk samtidigt om teatern har tillräckligt många kanaler.

5.3.4 Nutidens system

Ljudet sitter inte som vanligt som kod i filmen, utan det är istället en optisk läsare som känner av rutor i tiden. Ljudet ligger på 6 kanaler, och man kan manipulera ljudet själv (om mixen är dålig någonstans kan man kompensera för detta) mellan dessa 6 kanaler. Ljudet från dessa 6 kanaler skickas sedan till 6 stycken stora klusterhögtalare av vilka 4 stycken befinner sig bakom skärmen, en befinner sig till vänster bakom publiken och en befinner sig till höger bakom publiken. Med hjälp av diskreta nivåkontroller kan man sedan styra nivån på var och en av kanalerna separat. Det är tre slutsteg per kanal, en för bas, en för mellanregister och en för diskant.

Ljud med frekvenser under 80 Hz från de sex kanalerna matar en subwoofer. Uppskattningsvis är den sammanlagda arean hos subwoofern 6-7 kvm, vilken utgörs av 8 stycken 18-tums baselement.

Ljudet levereras i wave-format på DVD-skivor. Det skulle bli alltför dyrt att låta texta filmen på svenska, filmen i sig kostar 250 000-300 000 kronor, och skulle man texta råkopian på svenska så skulle priset utan problem uppgå till det tiodubbla. Cosmonova hyr själva in olika berättare och dubbar råkopian de får själva. De har sedan en bandenhet i vilken de själva testat ljudet tills de blir nöjda, varefter bandet skickas till USA för den slutgiltiga finputsningen och bränningen till wave-format på DVD-skivor.

På Cosmonova använder de sig av 6 kanalt wave-format, 44,1 kHz, och lägger över ljudet från DVD-skivan på en hårddisk. Under föreställningarna så är det ljudet från hårddisken som besökarna får höra, det betraktas som säkrare att köra ljudet från hårddisken. Ljudet från hårddisken samkörs med projektorn. Detta system kallas för Digital Theatre Audio Control (DTAC).

För att få så bra ljudåtergivning som möjligt, mäter man upp ljudet i lokalen och justerar systemet två gånger per år. Ljudet går från var och en av kanalerna till separata slutsteg från vilka kablar på upp till 30 meter matar högtalarna. Man kan tycka att avståndet är långt, men underhållsmässigt så är det en fördel att ha alla slutsteg samlade på en och samma plats, istället för att ha ett slutsteg på varje högtalarelement. Man brukar byta ut högtalarna med jämna mellanrum, främst baselementen eftersom dessa slits mer än de andra. Högtalarlådorna såg ut att vara slutna, guiden var osäker på om de var det. Ljudnivån i lokalen är i medel 85 dB men har toppar på 95 dB, och då har man fortfarande 18 dB kvar att ge. Det är lite svårt att anpassa ljudnivån till alla öron, men denna nivå tycks passa alla. I en sfärisk lokal är inte ljudförhållandena de bästa. Cosmonovas filmduk är perforerad för att släppa igenom ljudet från högtalarna, men också för att släppa igenom ljudet från lokalen. Bakom filmduken finns sedan ett utrymme med ljuddämpande väggar, vilka skall absorbera ljudet från lokalen.

5.3.5 Skillnader mellan IMAX och vanligt surroundljud

Lynn McCroskey är president för Sonic Associates. Han försöker förklara skillnaden mellan IMAX ljudsystem och konventionellt surroundljud i en intervju i Millimeter magazine. En av skillnaderna är att man använder sig av point source surround vilket man inte använder sig av i konventionella biografier. Där använder man sig av en massa små surroundhögtalare. McCroskey säger att vanliga konventionella rum varierar så mycket i form så att det nästan blir omöjligt att få point source att fungera. Uteffekten som IMAX systemet levererar varierar med storleken på rummet, men ligger typiskt på 12500 watt. Att ha en hög uteffekt gör att man slipper distorsion, menar McCroskey. Företaget kombinerar fyra stycken lågfrekventa högtalare i varje låda med mellan- och högfrekventa horn. McCroskey säger också att genom att använda sig av ett "sub-bass" system för de allra lägsta frekvenserna så minimerar man faskoherens problem. Den högtalarlåda de har tagit fram innehåller också en filterlabyrint som fångar de högfrekventa komponenterna fysikaliskt, vilka brukar kunna orsaka övertoner och distorsion.

En annan skillnad mellan IMAX och andra biograf- och teater surroundsystem är att Sonics inte använder sig av kompression av den digitala signalen. Både DDP och DTAC

ger naturtrogen återgivning och inget av formaten är inspelat på själva filmen. DDP använder tre stycken CD-spelare med ett patenterat synkroniseringssystem som ger mycket noggrann uppspelning.

5.4 Ljudnivån på Cosmonova

Ljudnivån i salongen brukar hålla sig mellan 85-95 dB. Vilken nivå som är bäst brukar man ha delade åsikter om eftersom det är svårt att finna en nivå som uppskattas av alla typer av besökare. Gamla människor och små barn tycker oftast att ljudnivån är för hög medan skolungdom kräver högre nivå för att de inte ska tappa intresset för filmen. Samtidigt är det ett känt faktum att för höga ljudnivåer orsakar skador på hörselorganet vilket man måste ta hänsyn till. Enligt råd från socialstyrelsen bör den ekvivalenta ljudnivån (medelnivån) och maxvärdet inte överstiga 100 dB respektive 115 dB. För barn gäller lägre nivåer.

5.5 Surroundljud i konsumentprodukter

[Detta avsnitt var inte Cosmonova-specifikt; det har utelämnats av redaktören.]

5.6 Ordlista

DDP - Digital Disc Playback. 2 kanaler med okomprimerat ljud på CD.

DTAC – Digital Theatre Audio Control. Ljudet från ett 6 kanaligt wave format ligger på en hårddisk, vilken samkörs med projektorn.

PERFOBAND – Ett ljudband som har samma mått som super-8-film, inklusive perforeringshål.

BINAURAL – Två små omnimikar har placerats där öronen på en människa sitter, för att sedan återges i ett par hörlurar.

5.7 Referenser

Internet

<http://www.nrm.se/cosmonova/>

<http://www.imax.com/>

<http://www.karlstad.se/miljo/buller/ljudrapport.pdf>

http://www.sos.se/sosfs/1996_7/1996_7.htm

<http://dolby.com>

<http://www.sospub.uk>

<http://history.acusd.edu/gen/filmnotes/imax.html>

<http://www.bfi.org.uk/showing/imax/explained.html>

<http://www.at-bristol.org.uk/imax/facts.htm>

Personlig kontakt: Björn Heden Cosmonova 519 551 06

6. The Sound at Dramaten

Nicolas Asenjo, Daniel Engdahl, Iris Etter, 2004

The sound department at the Swedish Royal Dramatic Theatre (Dramaten) has a large inventory of interesting equipment. In the production of a play, the sound department is involved from sound-related considerations in a show's manuscript to the time when the sound reaches the audience.

6.1 Overview

The sound that you hear when seeing a performance at the Royal Dramatic Theatre has gone through several processes. It all starts with the director going through the manuscript with the sound personnel and telling them when there is supposed to be music, effects and speech. The sound personnel start processing effects and music together with composers and sound designers. Most of the sound is recorded and edited in the sound studio in the Royal Dramatic Theatre's basement. After the sound is processed, the engineers put together a play list so that all sounds are in the correct order for the performance. During the show, a sound engineer participates actively from the sound control booth by playing the sounds, adjusting levels of the live music and much more.



Jan-Eric Piper, head of the Dramaten sound department, in the basement sound studio.

The Royal Dramatic Theatre is trying to keep up with today's fast growing technology and has installed a 5.1 surround sound system for the Small Stage. They are planning to install a surround sound system to the Main Stage as well, which for the moment uses only left and right stereo sound.

6.2 History



King Gustaf III, who was a true theatre lover, founded the Royal Dramatic Theatre, along with the Royal Opera House and the Swedish Academy by the end of the 18th century, all with the intention of making Sweden more culturally sophisticated. The first building to house the Royal Dramatic Theatre was the Ballgame house next to the Royal Palace. It was inaugurated in 1788, but the theatre did not stay there for long. The theatre moved around to several different places until 18 February 1908, when the Royal Dramatic Theatre's Main Stage (Stora Scenen) was inaugurated at Nybroplan. The Main Stage has a 15 meter wide turning stage and 720 viewer seats. The Small Stage (Lilla Scenen), which earlier had been a cinema, opened in April 1945 and has around 340 seats. After the total restoration in 2000, it is equipped with an improved sound system.

When sound effects were first introduced to the theatre, they used vinyl records with markings showing where the effects were recorded. The engineer would hold the record and with precise timing play the effects in the right situation in the show. Today, computer technology is used to queue up the sounds that will be played during the show. The automated playback system can even be so easy that it doesn't necessarily need an engineer behind the buttons. Since the system has improved over the years, fewer problems with sound effects occur nowadays.

6.3 Personnel

The Royal Dramatic Theatre's sound department has a staff of five permanently employed and three freelance workers. Some of them have started out as telecom engineers, for example the head of the department Jan-Eric Piper, who started working in the theatre business right after practice work for his education. Others are sound engineers who have graduated from the Piteå sound engineer programme.

Some of them are sound engineers and some of them are sound-designers, they work hand in hand together and with composers and musicians. After all sound has been put together for the premiere of a production, the sound designer leaves off to other projects, but the engineer stays through all the performances and participates actively. During the

show he is responsible for starting, stopping, panning and fading sounds and adjusting levels, this is sometimes done together with musicians and orchestras. It is important that an engineer is quick with his fingers so there will be no gaps in the sound, kind of like a DJ turning records at a nightclub.

There are always several projects running simultaneously, around 16-20 productions per year, so there is always a lot of work to be done. The sound personnel seem to be a group of hard working people who are really dedicated to their work, so it is common that they take the work home for further processing. But the theatre closes during summers, so all the personnel have eight weeks of vacation each year. Head of the sound department Jan-Eric Piper enjoys his work because it is very varying and gives him the opportunity to use his artistic side as well as hands-on technology when solving problems.

6.4 Sound Design for a Theatre Production

The sound department is involved in every theatre production from the very start, which is a big meeting with the director, the stage designer, and all the actors, eight weeks before the premiere. A plan for the “Sound design” is worked out to go hand in hand with all other parts of the production such as stage design and lighting. The director is the highest person in the production hierarchy, so whenever there is a conflict, he is the one who makes the final decision.



Sound designer and engineer at work in the auditorium.

Sound design covers all parts of the production that are related to sound: sound effects, music, recordings, placing of loudspeakers, microphones, etc. The requirements are different from one production to another. Whenever the basic technical equipment does not meet the specific needs for a new production, new equipment has to be bought.

In some cases, there is music especially composed for a play, and the sound designer also has to work together very closely with the composer. Sometimes, live music is used in a production, which can be played from different places – there is an orchestra pit in the

main auditorium, or musicians can play from the balcony, or backstage.

For musical productions, small radio microphones are used because the actors' voices have to be louder than the music. In regular dramas, actors rely entirely on their natural voices.

6.5 Recording

Although the Royal Dramatic Theatre's audio department has a large CD library of about 9000 different sound effects, and an archive of all their own recordings, it will always be necessary to make new recordings for new productions.

Recordings are usually made in their own studio, which is big enough to fit a piano and a small orchestra. None of the walls are parallel so that no stationary sound waves can build up. The walls on one half of the studio are lined with absorbing material, the other half with hard wood panels in order to be able to re-create a more concert hall-like sound. At times, it is also necessary to go out and record special sound effects outdoors.

The premier microphone is a Soundfield microphone. It uses a special technique with 4 built-in coincident microphone capsules. The resulting 4 recorded channels (B-format) could in fact be used to create 5.1 surround sound format, but they are mixed down to 2 channel stereo.

Everything is recorded on a hard disk system, using Fairlight, a professional recording software. The system is Unix based and therefore extremely stable. A special keyboard makes it relatively easy to operate. At the small stages, the sound is streamed directly from the hard disk system for the performances; at the Main Stage, CDs are used for playback.

The mixer board used here is a Yamaha board with 2x16 tracks and max. 8 mixer busses. In addition to the studio control room, there is an editing room that can be used separately for sound mixing and editing.

Separate from these recordings, a video and audio recording of each performance is stored in the theatre archive (the audio part on CD).



Separate editing room.



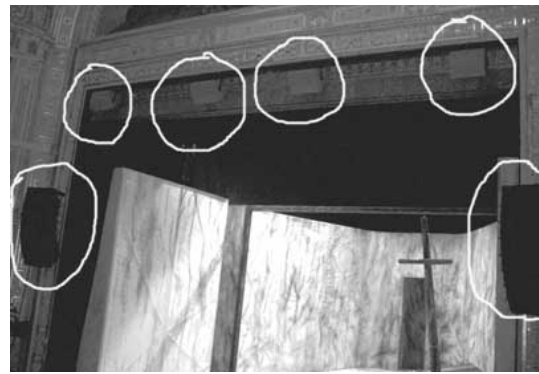
Soundfield microphone.

6.6 The Main Stage (Stora Scenen)

The Main Stage seats about 720 people and has not been constructionally altered since the first days of the Royal Dramatic Theatre.



The Main Stage.



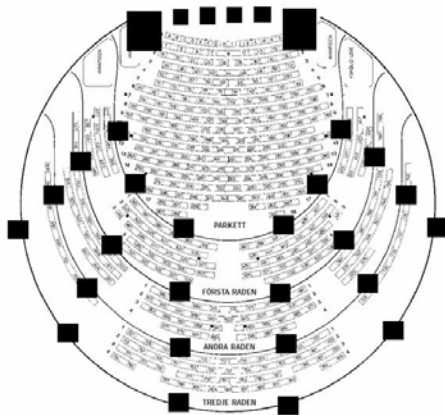
Speaker positioning around the stage.

During performances, sound used to be controlled from a small booth at one side of the stage. This booth is not used any more, but the same sound equipment is remote-controlled by the sound engineer who has his own place in the auditorium – close to the middle of the first tier.

The sequence of sounds, music and adjustments that are needed during a show are prepared to the smallest detail by the sound engineer and the sound designer beforehand and fed into a computer program so that during the performance, only one person has to be there to wait for the cues and press the right buttons at the right time.

Although the loudspeaker system on the Main Stage has 6 channels, usually only 2 of them are used at the same time. But the different channels are sometimes used in succession to move the sound from one place to another – for example music that is first played within the auditorium and moves back to behind the stage once the actors appear and start to speak.

The basic loudspeaker positioning is the following: 2 huge loudspeakers to the left and the right of the stage, at about three-quarters height, 4 smaller ones placed evenly across the top of the stage, and altogether 24 small loudspeakers mounted on the side and back walls – 6 at each auditorium level. In addition, there are some loudspeakers backstage. With this system, it is possible to provide more or less the same sound experience all over the auditorium. Of course, the speaker positioning can be adjusted according to the requirements of each production.



One challenging aspect of the Main Stage is that no constructional adjustments can be made in order to improve the acoustics. Whenever the building causes undesired effects, like nonlinear frequency responses or time delays, these have to be compensated using equalizers and other audio equipment.

Distribution of the loudspeakers in the main auditorium.

6.7 The Small Stage (Lilla Scenen)

Dramaten's second stage, Lilla Scenen, seats about 340 people. It used to be a cinema but was changed into a theatre in 1945. When it was renovated in 2000, the sound system was optimized, and the building conditions were also especially adapted to theatre needs with the help of an acoustic consultant.

The audio system here can be compared to that of a cinema. It is however a 3 channel system, with Left, Center, and Right channels. In addition to the 3 speakers at the front, there are 4 loudspeakers at each side of the wall.

The sound is controlled very effectively from a room at the back of the stage, using control software that could *almost* work by itself. The person sitting there during a performance doesn't even have to be audio engineer – he has a list of the cues from the play and a list of according sound files on the screen right in front of him, and just has to press a “go”-button when he hears the right cue. The computer here is directly connected to the sound file server - the files are streamed from the server for playback.



The Small stage and its new sound control booth.

The audio equipment at the other small stages is comparable to Lilla Scenen. It is planned to install the same system at the Main Stage with the next production mid-February 2005.

Other “audio systems” in the building are an intercom system for easy communication between different parts of the building, and a paging system in the hallway. The bells that remind you that the play is about to start, are still just classical mechanical bells that have probably hardly changed since 1908.

6.7.1.1.1 Working conditions

One of the problems that can occur working as a sound engineer at the Royal Dramatic Theatre is that the sound equipment itself can be in the way of the stage material, side-stage, backstage etc. It is then up to the director and sound engineer to come up with a solution that will produce the best result. It can be a challenge to explain and point out all the important parts to the director, who is mainly an artist and might be an egocentric personality with very strong ideas.

The sound levels in the theatre have never been a problem, all applicable restrictions are respected. As a sound engineer, one is very eager to achieve the best possible performance every single night. The sound must be of highest quality every time, because just like a painter or a sculptor, a sound engineer will put his or her signature to his/her work. Sound check is done before every performance night.

6.7.1.2 Budget

According to Jan-Eric Piper, the theatre's complete audio equipment has a total estimated value of around 7 million Swedish Crowns, which seems quite a moderate sum for all the equipment that was shown to us. Not all pieces of equipment are used for every production, but the most expensive parts are used at most occasions.

The theatre spends around 500 000 Swedish Crowns every year on audio equipment, which comprises new purchases as well as upgrades for existing equipment and/or software programs.

For every new production, there is a sum to be added to the budget for the sound equipment, the amount depending on the kind of production.

The sound equipment of The Royal Dramatic Theatre is one of the best in Sweden. We were told by Jan-Eric Piper that only the City Theatre (Stadsteatern) has a better sound system than the Royal Dramatic Theatre's sound equipment.



References

- Interview with Jan-Eric Piper, Head of the Sound Department at Royal Dramatic Theatre.
- Web Page: www.dramaten.se
- Dr. Damian Murphy: Lecture notes on surround sound.

7. Ljudarkivering

-Att bevara ljud för framtiden

Daniel Höglind, Linnus Isakson, David Johansson, 2004

Det finns idag ett stort antal tekniska system, vilka används för inspelning, uppspelning samt lagring av ljud. Det finns även ett antal system som försvunnit från marknaden, men vars ljudbärare med inspelat ljudmaterial fortfarande finns bevarade. Det är i dagsläget svårt att exakt avgöra hur beständiga dessa arkiverade ljudbärare är. Vissa av dem har redan börjat åldras, medan andra uppvisar en god stabilitet. Det är också omöjligt att veta om det ljudmaterial vi idag spelar in på nya tillgängliga ljudbärare kommer att vara möjligt att återge imorgon eller i en avlägsen framtid. I denna artikel ges en övergripande beskrivning av några vanligt förekommande ljudbärare, deras lagringskapacitet och beständighet. Betydelsen av att värna om utrustning och kompetens för att möjliggöra uppspelning av det bevarade ljudmaterialet i framtiden diskuteras också. Vilken strategi ska då tillämpas i arbetet med att bevara ljudmaterial? I Sverige arbetar Statens ljud- och bildarkiv med det långsiktiga bevarandet och tillhandahållandet av det i Sverige tillgängliga utbudet av inspelat ljud och rörliga bilder. Denna institutions strategi är att digitalisera allt bevarat ljudmaterial och lagra det på digitala magnetband för att på så sätt göra det möjligt att återge ljudmaterialet i framtiden. Detta omfattande arbete beskrivs också i denna artikel.

7.1 Ljudbärare idag

7.1.1 Fonografcyllinder

Fonografcyllindern var det första inspelningsbara ljudmediet. Den introducerades på marknaden av T.A Edison på 1870-talet och kom att tillverkas fram till slutet av 1920-talet. De tidigaste cylindrarna tillverkades huvudsakligen av vax och direktgraverades med hjälp av en särskild nål. På varje cylinder fick man då en analog representation av ljudet i form av smala spår av upphöjningar och nedsänkningar som löpte runt cylindern. Varje cylinderexemplar var på detta sätt unikt. Under 1900-talets början utvecklades tekniken och celluloid, en slags hårdplast, kom att ersätta vaxet som tillverkningsmaterial. [i, ii]

Flera olika format av fonografcyllindrar kom att cirkulera på marknaden. Standardformatet blev dock en cylinder med diameter 55 mm och en längd på 110 mm. Denna cylinder möjliggjorde en inspelning av två minuter ljud. [i, ii]

Ur beständighetssynpunkt har fonografcyllindern visat sig ha ett antal begränsningar. Mekaniskt slitage uppstår vid uppspelning, framförallt på de äldre vaxcylindrarna, och vaxcylindrarna är dessutom bräckliga och faller lätt sönder vid oaktsam hantering. Cylindrarna av celluloid är på denna punkt avsevärt mer tåliga. En felaktig hantering av en fonografcyllinder kan också leda till att mögel bildas i ljudspåren och att ljudmaterialet då går förlorat. På grund av denna känslighet är det alltså av största vikt att de bevarade fonografcyllindrarna förvaras under noggrant kontrollerade former. [i, ii]

78-varvare

Grammofonskivan fick sitt stora kommersiella genombrott i slutet av 1920-talet. Metoden för inspelning på grammofonskiva var då dock inte ny, utan denna analoga teknik introducerades kommersiellt redan år 1895 [iii]. Den äldsta bevarade svenska grammofonskivan tillverkades år 1899 och finns idag förvarad i Statens ljud- och bildarkiv [i].

De första grammofonskivorna tillverkades av shellack och detta material var vanligt fram till 1950-talet. Under vissa perioder förekom även lackskivor av acetat och aluminiumskivor. [i]

Efter att flera olika format med varierande uppspelningshastighet, diameter och täthet mellan ljudspåren, introducerats på marknaden fick man på 1920-talet slutligen ett standardformat. Detta format hade en diameter på 10 tum (25 centimeter) och en uppspelningshastighet på 78 varv per minut. På denna skiva, som kom att kallas 78-varvare, möjliggjordes en lagring av 3 minuter ljud på en av skivans sidor. [iii]

Grammofonskivor tillverkade av shellack uppvisar idag en mycket god beständighet vid korrekt förvaring. Lackskivorna av acetat har däremot visat sig vara känsligare. Lacken har i många fall spruckit, vilket har gjort det mycket tidsödande och nästintill omöjligt att rädda ljudinspelningarna. Även aluminiumskivorna är svaga ur beständighetshänseende eftersom det mjuka aluminiumet utsätts för ett omfattande mekaniskt slitage vid avspelning. [i]

7.1.2 Vinylskivor

På 1940-talet introducerades grammofonskivor tillverkade av vinyl och dessa kom med tiden att ersätta grammofonskivor av annat material. Vid samma tid utökades också antalet skivformat och ljudspåren gjordes smalare, vilket ökade skivornas lagringskapacitet. Det mest framgångsrika av de nya formaten blev en vinylskiva med diametern 12 tum och hastigheten 33 varv per minut. Denna skiva möjliggjorde en cirka 23 minuter lång ljudinspelning på vardera sidan och kom därför att kallas Long Playing Record (LP). Fram till 1980-talet kom LP-skivan att dominera den kommersiella inspelningen och lagringen av ljud. [iv]

Vinylskivor som lagrats under noggrant kontrollerade former uppvisar i dagsläget inga tecken på åldrande och materialet anses därför vara stabilt [i]. Att lagringsförhållandena är optimala är mycket viktigt av flera andra anledningar. Vinyl är ett mjukt material som lätt kan repas vid oförsiktig hantering samt förlora sin form vid höga temperaturer eller vid olämplig förvaring i exempelvis för täta plastomslag. Dessutom blir vinyl lätt statiskt laddat, vilket gör att skivorna drar till sig damm och smuts. Detta kan ge upphov till knaster och klickar vid avspelning av ljudet. [iv]

7.1.3 Magnetband

Magnetbandet utvecklades under 1930-talet och under åren har ett antal olika format funnits tillgängliga på marknaden. Det analoga kvarttumsbandet är dock det magnetbandssystem som har överlevt längst. [i]

Ett magnetband består av tre olika lager: ett plastskikt (bärare), ett magnetskikt och ett baksidesskikt. Uppbyggnaden är i princip densamma idag som då tekniken etablerades, dock har de olika skiktens sammansättning och egenskaper förändrats. Bäraren bestod ursprungligen av acetat, men detta material ersattes senare med det mer stabila materialet polyester. Även magnetskiktets struktur har utvecklats. Förr bestod skiktet av en oxidtape med antingen järnoxid eller kromdioxid, men idag utgörs det istället av metallpartiklar inneslutna i ett skyddsskikt för att undvika oxidering. På detta sätt ges magnetbandet en bättre förmåga att hålla information. Eftersom metallpartiklarna dessutom har minskats i storlek har magnetskiktet blivit jämnare och mer kompakt, vilket möjliggör en tätare informationspackning. Det nyare metallpartikelskiktet kan vara av två typer. I ett Metal

Particle (MP)-band är metallpartiklarna inneslutna i ett bindemedel som fäster bandet mot bäraren och håller samman partiklarna, medan de i ett Metal Evaporated (ME)-band fästs direkt på bäraren. Slutligen består magnetbandets baksidesskikt av grafit med ett polymerbaserat bindemedel. Detta skikt har till uppgift att förbättra bandets lindningsegenskaper och avleder statisk elektricitet. [i, v]

Det har med tiden visat sig att de magnetband som tillverkades med acetat som bärare tenderar att bli mycket spröda och därför lätt faller sönder under ogynnsamma lagringsförhållanden. Den nya bäraren av polyester är dock betydligt mer stabil och beräknas ha en beständighet på mer än 200 år, vid korrekt förvaring. [i]

Den magnetiska informationen på ett magnetband åldras inte heller nämnvärt och man räknar här med en beständighet på mer än 100 år, förutsatt att banden inte utsätts för onödiga magnetfält och förvaras i en kontrollerad miljö utan elektriska ledare, elektriska motorer etcetera. [i]

Den svaga länken i de magnetband som använder ME-band är istället bindemedlet, vilket förkortar magnetbandets livslängd till cirka 10-30 år under korrekta lagringsförhållanden [vi]. Då bindemedlet åldras bryts dess polymeriska kedjor ned, vilket försämrar vidhäftningsförmågan mellan magnetskiktet och bäraren i bandet. Detta leder till att beläggningen mellan skikten släpper, så kallad hydrolys. Nedbrytningen medför också att metallpartiklar i magnetskiktet oxideras, vilket minskar bandets magnetflöde. I bindemedlet finns det även smörjmedel som, då bindemedlet åldrats, kan tränga upp mot magnetbandets ytskikt och bidra till bildning av mögel. Livslängden för de magnetband vars magnetiska skikt utgörs av ME-band är idag fortfarande oviss. [i, v, vi]

Att tillverka magnetband är en komplicerad process och kvaliteten på den kemiska sammansättningen i banden varierar beroende på vilken tillverkningsbatch de tillhör. Detta gör att tillverkarna av magnetbanden inte lämnar långa garantitider för bandens beständighet. Det är dock förvaringen som är den avgörande faktorn för magnetbandens beständighet. Det krävs också att de kassettbaserade magnetbanden har mekanisk stabila kassetthus som inte kan skada banden. [i, vii]

7.1.4 Optiska diskar

I början på 1980-talet lanserades Compact Disc (CD)-skivan med en diameter på 12 centimeter på den kommersiella marknaden. Systemet var digitalt och optiskt, en laser användes för in- och avspelning, och skiljde sig följaktligen radikalt från det dåvarande dominerande, analoga gramfonssystemet.

Ursprungligen var alla kommersiella CD-skivor förinspelade. De förinspelade CD-skivorna består av tre skikt: ett plastskikt (bärare), ett aluminiumskikt och ett skyddsskikt av lack. Det digitala ljudmaterialet pressas in i skivans plastskikt i form av förhöjningar och försänkningar [xii]. Förutom det vanliga CD-formatet är CD-Audio och CD-ROM två andra typer av pressade CD-skivor som är vanliga idag.

Med tiden har också kommersiellt inspelningsbara skivor, så kallade CD-R och CD-RW, utvecklats. Istället för att här pressa in de fördjupningsmönster som utgör det digitala ljudmaterialet används en metod där man med en laser bränner in mönstret genom att skapa diffusa ytor i ett fotoskikt eller en metallegering. De inspelningsbara skivorna har alltså inga riktiga fördjupningar, utan dessa har bara efterliknats genom att man manipulerat reflektionsförmågan i skivornas ytskikt. [xii]

De pressade CD-skivorna har idag en lagringskapacitet på cirka 74 minuter inspelat ljud med upplösningen 16 bitar och samplingshastigheten 44,1 kHz, medan de inspelningsbara CD-skivorna har en kapacitet på cirka 650-700 megabyte data, vilket motsvarar cirka 74-80 minuter inspelat ljud med upplösningen 16 bitar och samplingshastigheten 44,1 kHz. [xii]

Under andra hälften av 1990-talet introducerades Digital Versatile Disc (DVD)-skivan på marknaden. Denna skiva har samma format som CD-skivan, men innehåller två lager. Varje lager klarar av att lagra 4.7 gigabyte data och detta innebär att man på ett lager av en

DVD-skiva alltså kan lagra cirka 13 timmar stereokodat ljud med upplösningen 16 bitar och samplingshastigheten 44,1 kHz. Utvecklingen har dessutom gått framåt och det finns idag även dubbelsidiga DVD-skivor med två lager per sida. Dessa skivor har en lagringskapacitet på 17 gigabyte. Precis som för CD-skivan finns det också inspelningsbara DVD-skivor.

En annan teknik med optiska diskar är Magneto Optical (MO)-tekniken, vilken använder sig av en kombination av laser och magnetisk registrering av ljud. Avspelnings-tekniken bygger på en avläsning av magnetskiktets punkter med hjälp av polariserade filter. Denna typ av diskar anses ha den bästa arkivbeständigheten av alla inspelningsbara skivformat. Tekniken används bland annat för inspelning på MiniDisc-formatet, vars skivor är mycket små och inneslutna i plasthöljen. [i]

De pressade CD-skivornas beständighet är idag oviss, men skivorna anses vara relativt stabila. Ett antal effekter relaterade till skivornas åldrande har emellertid påvisats. Dessa effekter är bland annat att skivornas reflekterande skikt oxideras och repas. Skivorna får också brytningsfel på grund av förändringar i basskiktet samt en minskad vidhäftning mellan de olika skikten. [i, vi]

Ovan beskrivna åldringsfenomen drabbar även de inspelningsbara CD-skivorna. Dessa löper också risken att drabbas av formförändringar av de simulerade förhöjningarna och fördjupningarna samt att kontrasten mellan dessa minskar. På grund av detta är dessa skivor ömtåligare och känsligare för ljus och de måste därför förvaras säkert och mörkt. [i, vi]

De pressade och inspelningsbara DVD-skivorna uppvisar idag en beständighet som liknar de motsvarande CD-skivornas beständighet. [i]

Som lagringsmedium har de optiska diskarna fördelen att de får en allt större lagringskapacitet samtidigt som de dessutom blir allt billigare. Skivorna möjliggör också en snabb åtkomst av det lagrade ljudmaterialet.

7.1.5 Hårddiskar

Under de senare åren har det blivit allt vanligare att ljudmaterial spelas in och lagras digitalt på hårddiskar. Olika datorprogramvaror används då för att spela in och bearbeta ljudmaterialet och därefter kan det lagras i ett lämpligt filformat på en hårddisk. I professionella sammanhang används idag bland annat ett okomprimerat ljudformat vid namn WAV (WAVEform Audio Format).

Hårddiskar har idag en mycket hög lagringskapacitet, ofta hundratals gigabyte. Om en popsång med normallång speltid lagras i WAV-formatet fås en ljudfil med en storlek på cirka 50 megabyte [viii]. På en hårddisk med ett lagringsutrymme på 100 gigabyte innebär detta att cirka 2000 sånger kan lagras. Detta gör hårddiskar till ett mycket kompakt lagringsmedium. Eftersom lagringskapaciteten på nya hårddiskar dessutom hela tiden växer samtidigt som priset på dem sjunker är hårddiskar dessutom billiga ljudbärare. Lagring på hårddisk är även en metod som möjliggör en snabb åtkomlighet av specifikt ljudmaterial.

När man talar om beständighet i hårddisksammanhang skiljer man på ljudbärens fysiska format, själva hårddisken, och dess logiska format, det filformat som ljudmaterialet på hårddisken är lagrat i. Det fysiska formatets beständighet anger hur beständigt och stabilt själva hårddisksmaterialet är, medan det logiska formatets beständighet handlar om hur länge ett visst filformat eller en viss programvara fortfarande existerar och används på marknaden. Tillsammans avgör de hur långt in i framtiden ett ljudmaterial, lagrat i ett visst format, är möjligt att spela upp. Idag är det framförallt den logiska beständigheten som är problematisk i hårddisksammanhang, eftersom nya filformat och uppgraderingar till befintliga format ständigt dyker upp på marknaden och ersätter de gamla formaten. [vi, vii]

7.2 Alternativa ljudbärare

Förutom de bärare som redan existerar och är i bruk för lagring av ljudmaterial så finns det idag andra medier som skulle kunna användas för framtida ljudlagring. Dessa förknippas dock oftast med text eller bild, men skulle mycket väl kunna modifieras för att passa även ljudmaterial.

7.2.1 35mm polyesterfilm

Ett tänkbart alternativ vore att lagra ljudmaterial som fotografiska silverbilder på 35mm film med polyesterbas, vilken idag används för visning av film på biografer. Polyesterfilmen anses ha en hög beständighet och man räknar med att filmen vid korrekt förvaring har en livslängd på cirka 500 år [ix]. Detta är en beständighet som vida överträffar många av de idag befintliga ljudbärarna.

Tekniken för att lagra ljud på 35mm polyesterfilm används redan till viss del idag. Företaget *Dolby* har exempelvis utvecklat ett system *Dolby SR-D* där det mångkanaliga ljudspåret till en långfilm kodas och lagras som digitala ljuddata mellan perforeringarna på filmens visningskopior. Varje område mellan två perforeringar har en area på ca 6.4mm², vilket i detta fall motsvarar ett datablock med datamängden cirka 2.9 kilobyte [x]. Genom att utnyttja hela 35mm-filmen för att lagra ljuddata skulle man således kunna lagra en stor mängd ljuddata. Exempelvis motsvarar en meterlång 35mm-filmremsa en datamängd på cirka 15.7 megabyte.

Grundförutsättningarna för att kunna använda 35mm polyesterfilm enbart som ljudbärare är alltså redan uppfyllda idag. Svart-vit silveremulsion finns tillgänglig och apparatur för att läsa och skriva ljuddata på filmen existerar också. Det skulle i princip bara behöva ske en modifiering av tekniken för att anpassa den efter nya kodningsförhållanden.

Användningen av polyesterfilm som ljudbärare skulle dock medföra ett antal nackdelar, främst ur förvarings- och tillgänglighetssynpunkt. Filmrullar är skrymmande och en omfattande användning av dessa skulle i längden kräva enorma arkivlokaler. Dessutom skulle ljudmaterialet med allra största sannolikhet bli mindre lättillgängligt och överskådligt.

7.2.2 Papper

Att lagra ljudmaterial, i form av digital data, på papper är en annan möjlighet. Papper har använts som lagringsmedium för text i hundratals år och har en hög beständighet. Det finns också mycket kunskap och erfarenheter tillgängliga på detta område. I Sverige har till exempel pappersdokument systematiskt arkiverats sedan år 1661 [vi].

Nackdelen med att lagra ljudmaterial på detta vis vore dock att tillgängligheten och överskådligheten av ljudmaterialet skulle minska. Även ur förvaringssynpunkt skulle det kunna uppstå problem. Papper är inte ett särskilt datatätt medium och mängden papper som skulle behövas för en sådan arkivering skulle således bli mycket stor.

7.3 Uppspelningsapparatur

När man diskuterar lagring och arkivering av ljud tenderar fokus att ofta helt hamna på de olika ljudbärarnas beständighet och åldrande, exempelvis på nedbrytningen av materialet i skivor och band. Vad som vanligtvis aldrig tas upp till diskussion är att även den tekniska apparatur som krävs för uppspelning av de olika ljudbärarna åldras och försvinner. Faktum är att de tekniska systemens livslängd i många fall kan vara en svagare länk än de medium som ljudmaterialen är inspelade på [i].

Till flera av de ljudbärare som idag finns arkiverade saknas lättillgänglig uppspelningsapparatur helt och till den apparatur som faktiskt finns tillgänglig är det i många fall nästintill omöjligt att införskaffa nödvändiga reservdelar för att kunna säkra

framtida drift. För modernare tekniska system, som idag försvunnit från marknaden, är läget mest akut. Det börjar exempelvis bli komplicerat att finna uppspelningsapparatur till flera av de tidiga, digitala magnetbandsformaten. Att just dessa system är kritiska beror på att uppspelningsapparaturen är så pass komplicerad att det är svårt att utvinna ljudmaterialet på systemets ljudbärare på annat sätt. Maskinerna i de äldre tekniska systemen, exempelvis fonografen och grammofonen, har oftast en enklare konstruktion och det är därför lättare att återskapa inspelningar gjorda på dessa, även om man inte direkt har tillgång till den ursprungliga avspelningsutrustningen. [i, vii]

För att garantera att ljudmaterialet på de bevarade ljudbärarna kommer att vara tillgängligt för uppspelning i framtiden är det alltså av stor vikt att även uppspelningsapparaturen för dessa bärare i så hög utsträckning som möjligt bevaras. Apparaturen bör förvaras i en väl anpassad miljö, få regelbunden service och underhåll samt testköras med jämna mellanrum. Detta underhåll är viktigt dels för att utrustningen överhuvudtaget ska hållas i fungerande skick och dels också för att den inte ska skada de redan känsliga ljudbärarna vid uppspelning. [vi]

När man väljer ett tekniskt system för lagring av ljud är det följaktligen centralt att man inte enbart fokuserar på beständigheten hos systemets ljudbärare utan att man även gör en ordentlig undersökning av hur väletablerat systemet är på marknaden. Om systemet har en stor utbredning är sannolikheten större att det kommer att finnas kvar på marknaden längre och att uppspelningsapparatur, reservdelar och support kommer att finnas tillgängliga.

Digitaliseringen av ljud och användandet av hårddiskar för lagring har också medfört att det har blivit viktigt att bevara de programvaror och filformat som behövs för att kunna spela upp det lagrade ljudmaterialet. Även här sker utvecklingen snabbt och det kommer ständigt uppdateringar och utökningar av befintliga programvaror och filformat. Det är alltså viktigt att hålla ett vaksamt öga på marknaden och se efter hur spritt ett visst format är innan man bestämmer sig för att lagra ljudmaterial i detta format. [i, vii]

7.4 Kompetens

För att kunna underhålla den uppspelningsapparatur som behövs för att även i framtiden kunna tillgängliggöra det bevarade ljudmaterialet krävs det omfattande kunskap om de äldre tekniska systemen och ett brinnande intresse för dessa apparater. Denna kunskap håller dock i dagsläget på att försvinna. De få som är insatta i de äldre systemen befinner sig i pensionsåldern och det finns ingen ny generation av tekniker som har viljan eller intresset att ta över detta omfattande och viktiga arbete. Denna brist på kompetens och intresse att bevara och underhålla de äldre tekniska apparaturerna för uppspelning av gårdagens ljudlagringsformat är således också en betydande faktor som påverkar ljudbärarnas och de bevarade ljudmaterialens framtid. [vii]

7.5 Arkiveringsförhållanden

För att förhindra att det arkiverade materialet åldras och med tiden förstörs ställs det höga krav på att arkivlokalen är utformad på ett optimalt sätt. Lokalen bör ha en temperatur och relativ fuktighet som är jämn över alla årstider. Vad gäller lämplig temperatur så skiljer man vanligen på arkiv innehållandes material som flitigt används och därmed ofta plockas ut ur arkivet och arkiv där materialet sällan används. I det förra fallet är en lämplig temperatur i arkivet $18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, medan det i det senare fallet är passande med en temperatur kring cirka 15°C . Den relativa luftfuktigheten bör i båda fallen vara mellan $30\% \pm 5\%$. Utöver dessa viktiga faktorer måste arkivlokalen även ha en god ventilation och vara fri från smuts och dammpartiklar. Den bör vara skyddad från direkt solljus, eftersom detta kan skada arkivmaterialet, och det skall också finnas ett väl fungerande skydd för bränder och

vattensador. Slutligen bör arkivlokalen uppfylla de övriga krav på arkiv som specificeras i *Riksarkivets författningssamling RA-FS 97:3*. [i]

Avspelningsapparaturer för de olika formaten och även reservdelar till dessa utrustningar bör på liknande sätt arkiveras i ett särskilt arkiv. I detta fall ställs det framförallt krav på att arkivlokalen är dammfri och att den håller en jämn temperatur på cirka 20°C. [i]

För att garantera att arkivlokalen uppfyller de krav som är uppställda och att arkivmaterialet inte åldras eller tar skada bör regelbundna stickprov göras i arkivets samling. Eventuella problem kan då på ett tidigt stadium upptäckas och förhoppningsvis åtgärdas.

7.6 Analog kontra digital lagring

Vad kan man då generellt säga om de befintliga ljudbärarna och deras beständighet i framtiden? Finns det något av de tekniska systemen som vore att föredra att fokusera på då man lagrar ljud för uppspelning i en avlägsen framtid?

Som beskrivits ovan har alla ljudbärare och tekniska system både sina för- och nackdelar vad gäller ljudlagring och alla kräver de en väl anpassad förvaringsmiljö. De äldre analoga systemen, framförallt vinylskivan, uppvisar i dagsläget en utmärkt beständighet, men har den nackdelen att de har en förhållandevis liten lagringskapacitet. För mindre arkiv med sådana välbevarade ljudbärare är det alltså möjligt att även i framtiden fortsätta lagringen på de ursprungliga ljudbärarna. För större arkiv är situationen dock mer komplicerad. [vii]

Idag råder huvudsakligen inställningen att det bästa sättet att bevara ljudmaterial för eftervärlden är att digitalisera det. Digitalisering är ett ganska vitt begrepp. Visst skulle man kunna säga att en CD-skiva eller ett DAT-band är digitaliserat, men i dessa sammanhang har bland annat Statens ljud- och bildarkiv valt att använda en annan definition. Ett objekt måste lagras som en datafil i ett system som tillhandahåller inlag, beskrivning, administration, lagring och access för att få kallas digitaliserat. [vi]

Varför ska man då digitalisera ljud då vi lever i en analog värld? Svaret är att digital teknik ger förmågor som annars skulle saknas. Väl inne i den digitala domänen kan de diskreta siffrorna läsas, förflyttas, analyseras och manipuleras utan att någon information går förlorad. Ytterligare fördelar vid masslagring är att den digitala representationen är mer robust än den analoga, den skapar nya möjligheter och tillhandahåller dessutom tillräcklig upplösning för att rekonstruera originalet för de flesta ändamål [vi]. När man dessutom talar om en så pass omfattande mängd data som finns i stora ljudarkiv, så är vinsten i ren fysisk volym betydande när man väl har informationen på hårddisk eller databand kontra andra format. [vii]

Digitalisering medför även att arkivmaterialets logiska och fysiska format separeras när det väl befinner sig i den digitala domänen (Se även *7.1.5 Hårddiskar*). Utan denna separation blir man tvungen att lagra det logiska och det fysiska formatet som en enhet, det vill säga i form av exempelvis en LP-skiva. Denna måste, som tidigare nämnts, lagras under särskilda förhållanden, samt kräver särskild apparatur för att kunna återges. Efter digitalisering behövs det således inte längre läggas så stort fokus på ljudmaterialets fysiska format. Däremot blir materialet desto känsligare för det logiska formatet och för det IT-system som fungerar som bärare. Istället för att hålla den tidigare maskinparken för ljudåtergivning i gott skick måste man nu se till att ha rätt programvara. Det krävs ett kontinuerligt arbete för att se till behoven av rätt drivrutiner, codecs och dylikt. [vi, vii]

Slutligen är en av de stora fördelarna med att digitalisera allt bevarat ljudmaterial att graden av tillgänglighet ökar. Detta skapar nya användningsområden och ett bättre utnyttjande av stora arkivs innehåll. Man slipper den omständliga proceduren att hämta ut materialet ur arkivet, ladda avspelningsapparatur och efteråt återställa materialet. Slitage på originalmaterialet elimineras också. Värdefullt material kan presenteras för en bred publik och möjligheterna att ge snabb arkivservice förbättras.

7.7 Statens ljud- och bildarkiv – En introduktion

Hur bedrivs då verksamheten att bevara ljudmaterial för framtiden i dagsläget? I Sverige är det Statens ljud- och bildarkiv (SLBA) som har i uppdrag av staten att arbeta med det långsiktiga bevarandet av ljudmaterial. I detta avsnitt ges en översiktlig introduktion till denna arkivinstitution och dess arbete.

7.7.1 Historik

Redan 1661 infördes i Sverige en kansliordning om pliktleveranser för tryckta skrifter. Det dröjde dock till mitten av 1930-talet, flera decennier efter det att ljud och bildmediernas utveckling tagit fart, innan ett filmarkiv upprättades. Detta arkiv togs 1964 över av Svenska Filminstitutet. År 1958 startades Nationalfonoteket som en egen avdelning inom Kungliga Biblioteket. Därigenom kunde större delen av den svenska skivproduktionen bevaras.

Radio- och TV-program har under åren systematiskt arkiverats av Sveriges Radio AB, men under slutet av 1960-talet protesterade flera forskare och politiker mot gallringsprinciperna och den dåliga tillgängligheten av det bevarade materialet. År 1967 togs därför beslutet att Dataarkiveringskommittén skulle utreda de allmänna arkiveringsproblem som hängde samman med ljud- och bildupptagningar.

År 1974 utvidgades pliktexemplarslagen, den lag som reglerade bevarandet av svenska skrifter, till att gälla även vissa ljud- och bildupptagningar. Det ansågs nämligen vara av ”stor vikt att information, opinionsbildning, kulturella framställningar med mera som läggs fram inför offentligheten genom de moderna medierna såsom radio, television, fonogram, film och videogram blir bevarade i en omfattning som någorlunda svarar mot vad som är fallet med tryckta skrifter”. En särskild arkivinstitution inrättades för detta ändamål och fick namnet Arkivet för ljud och bild (ALB), vilket senare ändrades till Statens ljud- och bildarkiv (SLBA). [vi]

7.7.2 Verksamhet och organisation

SLBAs uppdrag och mål är att ”ansvara för det långsiktiga bevarandet och tillhandahållandet av det i Sverige tillgängliga utbudet av inspelat ljud och rörliga bilder. Statens ljud- och bildarkiv har således det nationella ansvaret för de audiovisuella medierna i Sverige”. [vi]

Verksamheten leds av en generaldirektör och institutionens organisation utgörs av en stabsfunktion, en administrativ enhet och personalenhet samt fem sakenheter: förvärvsenheten, katalogenheten, teknikenheten, enheten för forskarservice och IT-enheten. År 1995 var antalet anställda 38 stycken och idag har siffran ökat till drygt 60 anställda. Av dessa arbetar 11 personer på teknikenheten och tre personer på IT-enheten. Den övriga personalen arbetar med administration, exempelvis som bibliotekarier. [vi, vii]

SLBAs verksamhet delas upp i två huvudsakliga grenar: *Förvärva och bevara* samt *Beskriva och tillhandahålla*. Målsättningen för verksamhetsgrenen *Förvärva och bevara* är att pliktexemplar av ljud- och bildupptagningar skall levereras till SLBA och bevaras med största möjliga fullständighet. Verksamhetsgrenen *Beskriva och tillhandahålla* har som mål att allt bevarat material skall vara katalogiserat med högsta kvalitet samt att öka samlingarnas tillgänglighet. [vi, vii]

7.7.3 Förvärva

De största leverantörerna av ljud- och bildmaterial till SLBA är Sveriges Radio, Sveriges Television och TV4. Bandningen av material sker löpande hos dessa programbolag och ljudmaterialet från Sveriges Radio levererades idag på digitala ljudband till SLBA.

Utöver detta övervakar SLBA aktivt fonogram- och multimediamarknaden och ser till att arkivet får tillgång till de nytugåvor som släpps. År 2003 uppgick antalet levererade

fonogram till 3515 stycken och antalet multimedier till 406 stycken. SLBA får även som deposition eller gåva ta emot ljudupptagningar. [vi, vii]

Vad gäller ljudmaterial på webbsidor på Internet så finns det idag ingen effektiv insamling. Det finns inte heller några lagar som reglerar en sådan insamling. [vii]

7.7.4 Bevara

Vad gäller bevarandet av ljudmaterial för framtiden intar SLBA i dagsläget ståndpunkten att det säkraste sättet att bevara ljudmaterial i framtiden är att kopiera över det till nya ljudbärare och nya tekniska system. [vi, vii]

7.7.5 Beskriva

SLBA arbetar aktivt med att katalogisera allt bevarat ljud- och bildmaterial och på institutionens hemsida på Internet finns därför ett antal databaser utlagda: *Svensk fonogramförteckning*, *Svensk film- och videoförteckning*, *Svenska interaktiva multimedier*, *Svensk 78-varusskivor* samt *Statens ljud- och bildarkivs bibliotek*.

På grund av alltmer svåröverskådliga databaser har SLBA även tagit fram ett nytt enhetligt format som bygger på *Katalogiseringsregler för Svenska bibliotek* (KRS). Därigenom kommer mycket av kataloginformationen att göras sökbar via det nationella biblioteksdatasystemet *LIBRIS*. Tanken är också att digitaliserade filer ska kunna länkas direkt till kataloginformationen. [vi]

7.7.6 Tillhandahålla

SLBA arbetar aktivt med att göra det bevarade ljudmaterialet tillgängligt för forskningen. För att få tillgång till arkivets samlingar måste först en anmälan av forskningsändamål göras. Det önskade materialet överförs sedan avgiftsfritt till studiekopior på ljudkassett. Hemlån och kopiering av materialet är alltså inte tillåtet. Under 2003 registrerades 739 nya forskningsprojekt på SLBA. [vi, vii]

7.8 Statens ljud- och bildarkivs strategi för arkivering av ljudmaterial

7.8.1 Inledning

SLBAs arkiv innehåller idag ungefär fem miljoner timmar inspelat ljud och rörlig bild. Detta material är fördelat på över 50 olika ljud- och bildsystem, vilka sinsemellan inte är kompatibla. De fysiska bärarna har en begränsad livslängd och likaså kommer inte all avspelningsutrustning fungera i all framtid. SLBA har gjort undersökningar som visar att vissa bärare i det egna arkivet endast har ett fåtal år kvar innan det lagrade ljudinnehållet går förlorat och att en del bärare till och med befinner sig bortom all möjlighet att rädda. Man har således insett svårigheterna med att behålla ljudmaterialet på de bärare som det idag finns bevarade på. Därför har man nu initierat ett projekt som går ut på att migrera hela arkivsamlingen till den digitala domänen, vilket kommer att göra det möjligt för samlingen att leva vidare i framtiden. [vi, vii]

Som ordet migrera antyder så handlar det om att flytta någonting. Generellt används termen främst då man flyttar datortjänster från en teknisk lösning till en annan. I SLBAs fall handlar det i första hand, särskilt som man befinner sig i ett initialt skede av bevarandeprocessen, att migrera analogt material till en digital miljö. För att kunna göra detta krävs att materialet digitaliseras. Förutom själva förflyttningen från en bärare till en annan, innefattar termen migrering även begrepp som urval, logistik, restaurering, metadata och lagring varav alla är viktiga element som inte bör negligeras. [vi]

7.8.2 Arbetsprocessen

Många av arkivets videoband befinner sig i dagsläget i ett mer kritiskt skede av förfall än ljudmaterialet. Därför har dessa videoband prioriterats och arbetas med kontinuerligt. På grund av detta förekommer det än så länge inget fortlöpande migreringsarbete av det omfattande ljudmaterialet. SLBA har således inte i egentlig mening utarbetat någon standardmetod för hur arbetet ska gå till med de bevarade ljudbärarna, men det påminner i mångt och mycket om verksamheten med videomaterialet. Processen, som beskrivs nedan, har därför sin utgångspunkt i arbetet med migrering av videomaterial. Denna process kan dock förväntas vara likvärdig för arkivets ljudmaterial.

7.8.3 Urval

Urvalet av de format som ska migreras styrs i första hand av i vilket skede av förfall de olika formaten befinner sig. Urvalet av material antas bli mer praktiskt om det görs på grundval av hela bärare och inte på program på enskilda bärare. Detta antas förenkla själva överföringsprocessen. Vill man så finns ju möjligheten att göra ytterligare förfinade urval när ljudmaterialet väl är digitaliserat. Man försöker också i möjligaste mån att undvika att överföra dubletter av ljudmaterial, vilka man har vetskap om förekommer i arkivet. [vi,vii]

7.8.4 Fysisk förberedelse

För att kunna genomföra en migrering av ljudmaterial finns det ett antal fysiska aspekter man måste ha i beaktning. Dels måste man se till att hålla maskinparken för de olika ljudsystemen intakt. Detta görs dels genom ett regelbundet underhåll av den befintliga uppspelningsapparaturen och dels genom bevarandet av kompetens för handhavandet av utrustningen. I dagsläget har SLBA cirka 600 maskiner för uppspelning av ljud och bild i sin ägo. [vi,vii]

För att optimera avläsbarheten kräver vissa ljudbärare att de poleras och/eller bakas, vilket innebär att de värms upp i två dygn i 55° värme. Även andra åtgärder som att behandla repor och dylikt kan även vara aktuellt. [vi]

7.8.5 Digitaliseringen

Med källmaterialet tillgängligt är det sedan dags för överföringen till den digitala domänen, digitaliseringen. A/D-omvandlingen är ett kapitel för sig, och av utrymmesskäl tas inte detta upp i denna artikel. Vad som dock är intressant i fallet med massmigrering, som detta rör sig om, är den hastighet med vilken man kan göra överföringen. Tester gjorda på de kvarttumsljudband som utgör största delen av SLBAs ljudmaterial har visat att uppspelningshastigheten kan ökas med 100 % utan att märkbar distorsion uppstår [vii]. För redigering av det digitaliserade ljudmaterialet använder man idag mjuk- och hårdvara från SADiE [viii].

7.8.6 Katalogisering (metadata)

Katalogisering är av största vikt för ett arkiv av SLBAs storlek. Talar man om datafiler, så är metadata ett nyckelord vid katalogisering. Metadata är data om data (eller information om information). Man skulle kunna dela in metadata i tre typer av information, beskrivande, teknisk och administrativ. Den beskrivande typen innehåller, som antyds, information såsom namn och innehållsförteckning. Tekniska metadata beskriver vad som krävs för att kunna använda innehållet, det vill säga uppgifter om bland annat hård- och mjukvara. Administrativa metadata berättar innehållets historia, var det tillverkades och tillverkningsdatum etcetera. Digitalisering bidrar till att metadata i större utsträckning kan integreras med det faktiska innehållet. Ambitionen torde således vara att metadata tillhandahåller allt man behöver för att kunna använda ljudmaterialet, nu och i framtiden. [vi]

SLBAs målsättning är att man under migreringsprocessen optimerar utvinningen av

metadata. Det betyder att alla existerande, betydelsefulla, metadata skall behållas och att nya, exempelvis teknisk information från överföringsprocessen, ska skapas och lagras. [vi]

7.8.7 Lagringsformat

Som logiskt format för ljudmaterialet har SLBA valt att använda Broadcast Wave Format (BWF) med en upplösning på 16 bitar och en samplingsfrekvens på 48 kHz [vi, vii]. BWF är ett format som standardiserades av EBU år 1996 och som idag används som filformat för radioljud av bland annat Sveriges Radio, andra EBU-bolag samt nationella arkiv [xiii]. BWF är baserat på *Microsofts* WAVE-format, men den väsentliga skillnaden är att en BWF-fil även innehåller ett Broadcast Audio Extension-block.

SLBA har valt att göra samtliga sina ljudinspelningar okomprimerade. Man anser att de ekonomiska vinsterna är alltför små för att motivera att man gör sig av med unik information och dessutom ger icke-destruktiv komprimering en relativt liten besparing vid datalagring, endast cirka 10 %. [vi,vii]

För själva datalagringen har man valt datorband, 200 GB Linear Tape Open 2 (LTO-2). Detta format har valts på grundval av att formatet är mycket datatätt och robust. Även om dessa band har en stor lagringskapacitet måste man dock hela tiden göra en avvägning av hur mycket material som ska lagras på varje band. Om ett band går av försvinner nämligen all lagrad information. [vi,vii]

Förutom det ljudmaterial som SLBA själva digitaliserar så får arkivet in en hel del digitalt material från andra håll, exempelvis från radiostationer. Man har därför accepterat att även lagra ljudmaterial i MPEG-format. Det anses meningslöst att transkodera detta material till ett okomprimerat format. Förhoppningen är dock att det digitala material som levereras till SLBA i framtiden uteslutande skall vara i BWF. [vi,vii]

7.8.8 Arkiveringsystemet

För lagringen av LTO-2-banden med det digitaliserade ljudmaterialet används en arkivrobot och banden lagras i en datahall med en temperatur på 15°C. Detta system har använts av SLBA i fyra år och började ursprungligen som en prototyp. I dagsläget finns tio terabyte data, motsvarande 3000 timmar ljud- och bildmaterial, lagrat i roboten och tanken är att den så småningom ska flyttas ner till arkivet och bli en del av det.

SLBA litar dock idag inte fullt ut på beständigheten i systemet och för att garantera att inget material på LTO-2-banden går förlorat lagras allt material i minst två kopior i roboten och regelbundna stickprov görs i bevarandesystemet. Dessutom görs en backup på all lagrad data och för att ytterligare vara på den säkra sidan arkiverar även SLBA i dagsläget allt det material som redan digitaliserats.

7.8.9 Standarder

Det har än så länge inte upprättats någon egentlig standard för omfattande digitalisering och lagring av audiovisuellt material. Detta beror till stor del på att tillverkningsindustrin ännu inte visat något större intresse för denna förhållandevis lilla marknad. Det finns dock ett antal internationella och europeiska organisationer som arbetar med frågor kring standardisering av lagring av audiovisuellt material, bland annat IASA (International Association of Sound and Audiovisual Archives) [xiii] och PRESTO (Preservation Technology for European Archives) [xiv].

Problemen med växande ljudarkiv och åldrande ljudbärare återfinns idag i flera länder i världen och det krävs samarbete över nationsgränserna för att finna optimala och standardiserade vägar att bevara världens ljudskatter för framtiden.

7.9 Källförteckning

8. Akustisk Virtual Reality

Per Bergqvist, Malin Köksal, Marcus Olsson, 2003

När vi vill representera en virtuell 3-dimensionell värld, tänker vi vanligen på hur den ser ut. Vi gör upp en modell för var objekten ligger i rummet, vilka färger de har och hur de reflekterar ljuset. Vi sätter in ljuskällor och beräknar hur ljuset reflekteras, vad som syns och vad som inte syns i rummet och får ut t.ex. en färdig bild, eller en sekvens av bilder som visar hur vi rör oss i rummet. Kanske vill vi skapa två bilder; en till varje öga, så att världen kan upplevas mer verklig, och 3-dimensionell. Den simulering vi skapar då är en representation av vad våra ögon skulle uppleva om vi befann oss i denna miljö på riktigt. På samma sätt som vi gör beräkningar för vilket ljus som träffar våra ögon, kan vi även göra beräkningar för hur ljud i en miljö träffar våra öron. Detta går under namnet akustisk virtual reality.

8.1 Användningsområden idag

Nedan kommer en del tillämpningsområden tas upp och vilka möjligheter som tekniken kan ge dessa områden. Eftersom den akustiska VR-utvecklingen ännu inte kommit så långt, så är det svårt att läsa sig till vilka de framtida tillämpningarna kan tänkas vara. Därför är områdena nedan säkert långt ifrån heltäckande och mycket är dessutom egna funderingar från författarna själva.

Eftersom forskningen och utvecklingen av program för akustisk virtual reality är relativt ny, så har det inte gjorts så mycket som är tillgängligt för gemene man. Vissa universitet och museer har gjort en del tillämpningar, som dock mer syftar till att väcka nya tankar och idéer för framtida användningsområden än att skapa nytta för eller roa nutiden. Exempelvis har det gjorts inspelningar för lyssning i hörlurar för att simulera allt från ljudet i en tunnel under floden Donau till musikinspelningar och skapande av virtuell akustik i konstutställningar. Försök med surroundapplikationer där högtalare används för uppspelning har också gjorts, till exempel en virtuell teater med 14 högtalare uppbyggd på det japanska University of Aizu Multimedia Center [xv]. Systemet har en Sweet Spot (det område där surroundeffekterna uppfattas korrekt) så stor att upp till 20 personer samtidigt kan ta del av ljudupplevelsen. Även en del program som kan beräkna ljudåtergivning i arkitektoniska modeller finns för närvarande ute på marknaden. Detta nämns ytterligare senare i texten.

Ett system som kommit långt i utvecklingen heter LISTEN och är utvecklat av Fraunhofer Institute i Tyskland [xvi]. Systemet, som demonstrerades för första gången 2003 på en utställning i Bonns konstmuseum, använder sig av hörlurar som är utrustade med antenner, som förutom att ge information och en ljudupplevelse till besökaren även håller koll på besökarens position i rummet och ändrar således ljudinformationen utifrån hans eller hennes rörelsemönster. Dessutom har systemet ett minne som kommer ihåg var besökaren har varit, så om samma del av utställning besöks en andra gång, så ändras informationen så att besökaren inte behöver höra samma sak igen. Detta bidrar starkt till att besökaren känner en interaktivitet och är något som förhöjer upplevelsen ytterligare.

8.2 Användningsområden i framtiden

8.2.1 *Läromiljöer*

Den här tekniken får vi säkert se inom flera olika genrer där det finns någon slags avancerad utbildning, exempelvis pilotutbildningar, bilskolor och utbildning inom sjukvården med exempelvis simulering av kirurgiska ingrepp på en akutmottagning. Gemensamt för alla dessa områden är att det är en stressig miljö där även det omgivande ljudet är ett stressmoment. Att få simulera dessa situationer i en miljö så lik den verkliga som möjligt är en bra förberedelse, så att miljön känns så bekant ut som möjligt när man hamnar i den verkliga situationen. När dessa system dessutom blir billigare, så kommer de vara en investering som kan spara mycket pengar vid utbildningarna, jämfört med att köra simuleringen skarpt.

8.2.2 *Videokonferenser*

Idén med videokonferenser är att skapa en mötesplats i det ickefysiska rummet. Målet är att platsen ska kännas så naturlig som möjlig för att deltagarna ska kunna bortse från tekniken och kunna koncentrera sig på själva mötet. Här är det viktigt att både bild och ljud är transparenta. Man ska få känslan av att man sitter i samma rum som deltagarna på andra sidan och då är ljudet en viktig del. Idag är flaskhalsen i dessa system själva överföringshastigheten. Bandbredd kostar pengar och därför nöjer man sig med ett monoljud som klarar av att föra över talet men ingen extra kvalitet utöver det. I en framtid med ökad bandbredd till lägre kostnad finns det möjlighet, redan med dagens teknik, att få ett transparent ljud. [xvii]

8.2.3 *Arkitektur*

När arkitekter sitter och modellerar nya byggnader och interiörer har de ingen möjlighet att på förhand veta hur akustiken blir i det framtida rummet. Det är endast erfarenhet som gör att arkitekten kan gissa och räkna sig till hur det kommer att låta. Nu har det börjat komma program som simulerar akustiken i modeller. Exempel på sådana program är det danska Odeon, framtaget på Danmarks Tekniska Universitet [xviii], samt det svenska företaget Catt:s egna mjukvaror [xix]. Principen i dessa program är att man beräknar ljudvågornas utbredning i rummet och sedan lägger in en ljudfil i programmet och lyssnar på resultatet. Mycket pengar kan sparas på att man redan i modellen kan upptäcka akustiska problem, så slipper man dyra ombyggnationer när felet istället upptäcks i verkligheten.

Tyvär är datorer ännu inte så kraftfulla att sådana program kan rendera i realtid, så att det skulle vara möjligt att gå runt med en avatar (datorfigur som representerar dig själv) i modellen.

8.2.4 *Upplevelser*

Upplivelsesindustrin har under de senaste åren vuxit och troligen kommer den här marknaden att fortsätta växa. Att åka på semester är nuförtiden mer än att bara ligga och sola på en strand, idag vill man uppleva stället man åker till. Man vill känna atmosfären och ta till sig alla intryck – såväl med ögonen som med öron och näsa.

Muséer går idag från att lägga föremål i glasmontrar till att sätta in dessa i ett sammanhang och bygga upp en hel miljö med bild och ljud. Här skulle akustisk VR kunna bidra till att ytterligare skapa rätt stämning, exempelvis genom att besökaren får ett par hörlurar som kan följa besökarens rörelser in i minsta huvudrörelse.

8.2.5 Datorspel

Idag finns flera spel som stödjer 5.1-ljud, men längre än så har utvecklingen ännu inte kommit på konsumentnivå gällande akustisk VR. Författarna tror att det är inom datorspels-branschen som de första kommersiella produkterna och tjänsterna inom 3D-ljud kommer, precis som så skedde inom 3D-grafiken. Redan idag är grafiken i många spel tillräckligt bra för att den ska uppfattas av spelaren som en alternativ verklighet, så nu återstår att ljudåtergivningen ska bli därefter.

Att skapa ett 3D-ljud med hjälp av högtalare är inte lika datorkraftsödande som med hörlurar, eftersom beräkning av huvudpositionen inte behövs. Däremot krävs det att lyssnaren sitter i högtalarsystemets Sweet Spot för att ljudet ska uppfattas rätt. Ett uppenbart användnings-område där högtalare kan användas är inom datorspelsbranschen, där spelaren oftast sitter stilla framför skärmen och alltså inte förflyttar sig utanför högtalarsystemets Sweet Spot.

För synskadade finns det för närvarande inte mycket i datorspelsväg på marknaden. På KTH bedrivs just nu forskning kring utveckling av datorspel för synskadade [xx]. För denna målgrupp skulle en utveckling till ett realistiskt ljudrum göra att de kan spela spel med samma inlevelse som seende kan idag.

8.3 Ljudperception

Individuella ljudvågor brukar kännetecknas med parametrarna klang, ton och styrka men det är den spatiala egenskapen som ger ljudet dess tredimensionella känsla. På samma sätt som två ögon är en förutsättning för djupseendet kräver uppfattningen av spatiala ljud två öron. Lokaliseringen av ljudkällan sker med hjälp av hjärnans förmåga att jämföra och bearbeta informationen om tids- och intensitetsskillnader mellan öronen. Andra faktorer såsom eko, reflektioner och dämpning av ljudet ger ledtrådar till hur omgivningen ser ut. Hörseln kan även förse människor med upplysning om vad för typ av material ett objekt är uppbyggt av eller vilket tillstånd det befinner sig i.

För att kunna skapa virtuellt ljud måste de mänskliga psykoakustiska egenskaperna förstås. Det finns en stor mängd villkor som måste tas i beaktning när ett rumsligt ljud ska återskapas. Primärt handlar det om dessa faktorer:

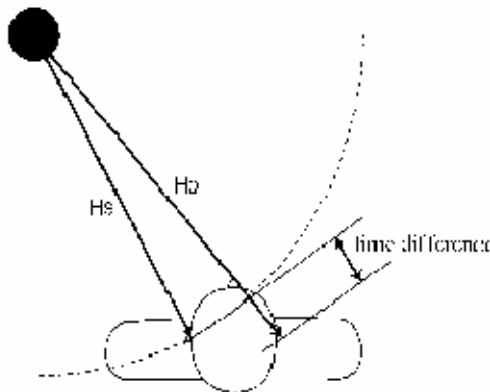
- *tidsfördröjning* ITD (Interaural Time Difference),
- *intensitetsskillnad* IID (Interaural Intensity Difference),
- *eko* samt
- *reflektion*.

Det bör nämnas att den spatiala prestationen för den auditiva kanalen är underlägsen människans visuella. För att kunna uppfatta en förflyttning av ljudkällan måste denne omplaceras med en vinkel i storleksordningen 5° från lyssnaren.[xxi]

8.4 Tidsfördröjning och intensitetsskillnad

Avståndet mellan öronen kan tyckas vara försumbart, dock visar det sig att ett ljud som kommer rakt från vänster når det högra örat med en fördröjning på ca 0.63 ms. Denna ringa tidsdifferens är tillräcklig för att registrera riktningen till ljudkällan. Hjärnan har lättare att kalkylera tidsskillnader hos höga frekvenser än låga då dessa har en kortare våglängd och påverkas av ytterörat. Beroende på från vilket håll ljudet kommer, så kommer ytterörat att filtrera ljudet olika. Avståndet mellan öronen har även en inverkan på intensiteten hos ljudet vid respektive trumhinna. Ett och samma ljud kommer att

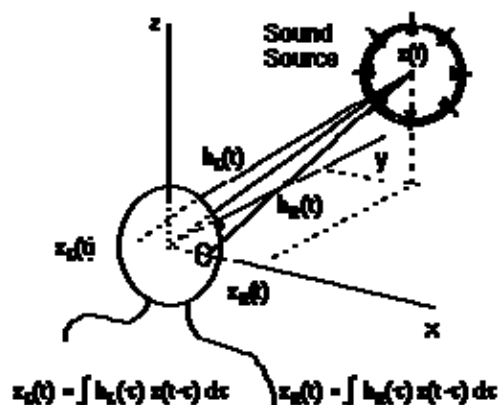
uppfattas som högre vid det öra som är närmast ljudkällan. Detta beror inte enbart på skillnaden i avstånd utan även att huvudet har en viss filterverkan då ljudet ”går runt” till det andra örat. Mest känsligt för intensitetsskillnad är de höga frekvenserna då dessa har svårt att böja sig runt huvudet. [vii]



Figur 8-1: Bilden visar tidsskillnaden mellan öronen.

8.5 HRTF

För att efterlikna den process som sker i hjärnan då data från ett ljud ska bearbetas, har en matematisk formel skapats som går under beteckningen Head Related Transfer Function (HRTF). HRTF kan liknas vid en filterbank där filterfunktionerna varierar beroende på ljudets infallsvinkel. Beräkningarna är baserade på data från mätningar av tid och intensitet för ljudet vid respektive öra, med avseende på en mängd olika positionerade ljudkällor. Detta kommer sedermera att underlätta beräkningarna av när och hur en potentiell ljudkälla skulle kunna uppfattas i respektive öra.



Figur 8-2: För att finna ljudtrycket vid trumhinnan måste impulsvaret $h(t)$ tas fram. Dess fouriertransform $H(F)$ utgör den s.k. HRTF.

Nackdelen med denna funktion är att den inte tar hänsyn till individuella lyssnarens parametrar, till exempel huvudstorlek och ytterörats utformning, utan använder sig av siffror som är baserat på ett medelvärde. Trots detta återskapas ljudet tillräckligt bra för att ge en trovärdig illusion. [xxii]

8.6 Rumsakustik

Människans rumsuppfattning baseras på information från såväl visuella intryck som auditiva. Små ekon och reflektioner av ljud från omgivningen hjälper till att bestämma olika objekts riktning och avstånd. Utan större svårigheter kan en lyssnare, med hjälp av

hörseln, avgöra om den som talar står vänd mot eller från denne. Dessa data kan även i många fall ge information om omgivningens storlek och utformning. Ljudets utbredning och form påverkas bland annat av densiteten och strukturen hos rummets ytor. Genom att bearbeta data från de reflexer som skapas i rummet kan människor till och med urskilja materian i ett objekts tillstånd. Ett bra exempel är förmågan att urskilja ett blött underlag från ett snöigt.

8.6.1 Reflektioner och ekon

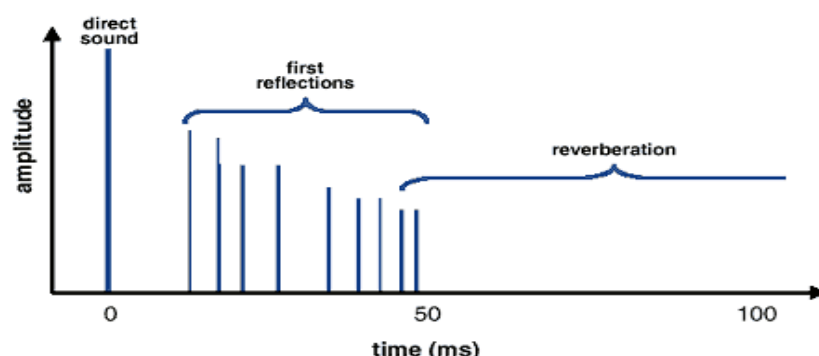
När en ljudvåg träffar ett hårt ytskikt reflekteras den inkommande ljudenergin vidare, mot en riktning som bestäms av vågens infallsvinkel mot ytan, med en näst intill oförminskad kraft. Denna reflektion kan vara både till lyssnarens fördel och nackdel vid lokaliseringen av ljudkällan. Det reflekterande ljudet kan antingen ge ytterligare information om direktljudets källa, eller också förvränga ljudet och därmed störa upplevelsen av riktverkan i rummet.

Till skillnad från de hårda ytorna absorberar de mjuka ytskikten ljudenergin från den infallande vågen. Detta medför att reflexer som kan uppfattas störande dämpas effektivt. Men ibland kan ljudet även lura lyssnaren. Om ljudvågens reflex inte formas till en skarp ljudvåg utan till spridda mindre reflexer, uppfattas rummet som större än vad det egentligen är.

Andra auditiva faktorer som kan påverka människors uppfattning av rummet är ekon. Ett eko uppstår när det tar längre tid än 35 ms för det reflekterade ljudet att nå lyssnaren. I luft innebär det att avståndet mellan källa och lyssnare måste vara mer än ca 20 m. Denna tidsfaktor samt omfattningen av ekon i rummet kan hjälpa till att besluta om var lyssnaren befinner sig. Ett litet rum har till exempel färre ekon än en katedral.^[xxiii]

8.6.2 Haas-effekten

Från och med det ögonblick vi mottar den första ljudimpulsen av ett ljud infinner sig en kort tidsperiod som brukar kallas Haas-fönstret. Örat har en förmåga att addera ihop alla de reflexer som befinner sig inom detta fönster, det vill säga de reflexer som når örat inom ca 40 ms efter det att direktljudet uppfattats. Storleken på fönstret är frekvensberoende. I ett rum kommer dessa reflexer att integreras och slås samman med direktljudet och även förstärkas i ljudstyrka. De nästkommande reflexerna som når örat senare kommer att domineras av ekot och endast att vara till en nackdel för lokaliseringen av ljudkällan. I tiden mellan 50 och 100 ms uppstår efterklang och är en viktig effekt när ett rum ska simuleras.^[xxiv]



Figur 8-3: Haas-fönstrets reflektioner.

8.7 Närvarokänslan

Alla dessa faktorer måste beaktas då en modell för ett tredimensionellt ljud för en

virtuell miljö skall återskapas. Svårigheterna kanske inte enbart är den tekniska begränsningen utan även människors komplexa förmåga att uppfatta omvärlden. Än så länge har forskningen många frågor kring ljudperception och hur kunskapen om den mänskliga hörseln ska omsättas till den virtuella modellen för tredimensionellt ljud. Men många entusiaster håller nog med om att närvarokänslan i en virtuell miljö kräver en god samverkan mellan de visuella och auditiva aspekterna. Hörseln används för att förstärka rumsuppfattningen, kommunikationen mellan potentiella användare samt navigationen i den virtuella världen. Om informationen mellan sinnen inte överstämmer med varandra kommer detta att skapa enorm förvirring. Att inte ta den auditiva aspekten på allvar kommer att medföra att känslan av realism försvinner och upplevelsen kommer att återgå till en tvådimensionell värld.

8.8 Tekniker för akustisk VR

Man skiljer mellan *monauralt ljud*, *stereo*, *binauralt ljud* och *3D-ljud*.

Monauralt ljud är inspelat med en mikrofon och *stereo* är inspelat med två mikrofoner placerade långt ifrån varandra eller riktade åt olika håll. Genom att panorera ljudet kan man påverka varifrån ljuden tycks komma. Placeringen av ljudkällorna är dock begränsad till längs en linje som går genom lyssnarens huvud. Stereo ger inte heller någon möjlighet att få en realistisk känsla av hur reflektioner i tak, golv och väggar förändras när man rör sig i rummet.

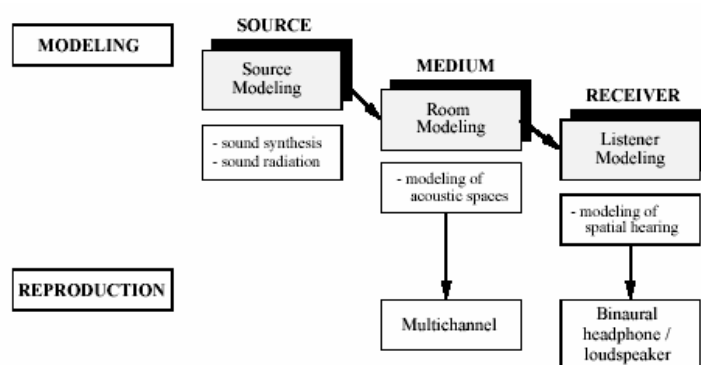
Binauralt ljud är en mer verklighetstrogen variant av stereo, som spelas in med två mikrofoner placerade i öronen på en docka, som simulerar lyssnarens huvud. På detta sätt får man en bättre upptagning som tar hänsyn till hur ljud reflekteras i vårt ytteröra.

3D-ljud är syntetiserat ljud, som tar hänsyn till hur ljudkällorna ligger i alla 3 dimensioner, hur rummet ser ut, och hur örat uppfattar ljudet. Detta kallas ljudspatialisering (sound spatialization), eller 3D-ljud.

Nedan följer en genomgång av de tekniker som idag finns. Genomgången är uppdelad i två olika ”skolor” av virtuellt ljud. Dels den realistiska skolan, som är generell, och används där kraven på hastighet och realtid inte är så stora, t.ex. inom arkitektur. Dels realtidsskolan, som är mer inriktad på att skapa en ljudmiljö som fungerar för att kunna skapas i realtid, och därmed bli interaktiv. Exempel på detta är datorspel.

8.9 Realistisk återgivning av virtuellt ljud:

I en korrekt virtuell ljudmiljö måste vi modellera tre saker: ljudkällan, rummet och lyssnaren.



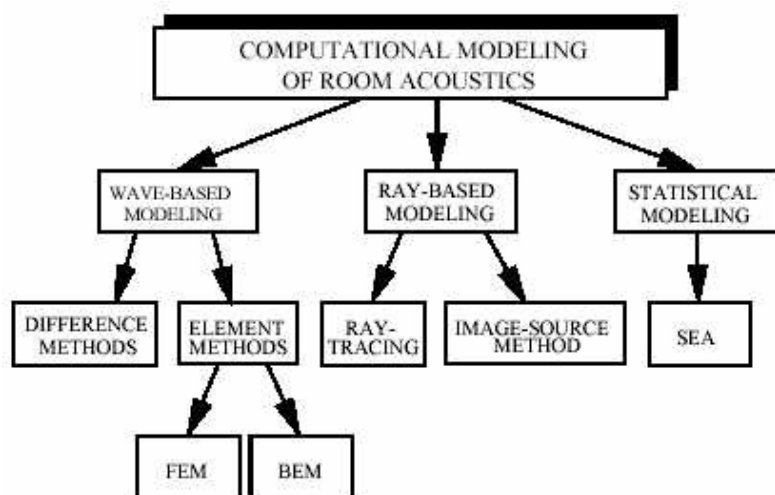
Figur 8-4: Modelleringskedjan källa till lyssnare. [xi]

8.9.1 Ljudkällan

Ljudkällor kan modelleras genom syntes, uppspelning av färdig inspelning, eller fysisk modellering. Vid syntes sätter man ihop olika syntetiserade vågformer, som i en analog synt och utgår inte ifrån något färdigt ljud, vilket man gör om man spelar upp en färdiginspelad ljudkälla. Den mest exakta men även mest beräkningstunga modellen är att modellera en fysisk modell, i vilken man beräknar vågornas utbredning i olika riktningar, t.ex. genom en så kallad digital vågledare [x]. Med denna metod kan man simulera enklare endimensionella ljudkällor (strängar, träblås instrument) i realtid. Viktiga parametrar för att beskriva ljudkällan är hur ljudkällans amplitud och frekvens strålar i olika riktningar, d.v.s. hur riktad ljudkällan är. Ljudkällans eventuella rörelse och storlek är också av betydelse. Enklare metoder och parametrisk modellering av ljudkällor i realtid finns under kapitel ”3D-ljud i spel”.

8.9.2 Rummet

Det finns flera olika metoder för att göra en korrekt akustisk modell av ett rum.



Figur 8-5: Olika modelleringsmetoder [x]

Vågmodellering

Genom att ställa upp vågekvationen för rummet och lösa den numeriskt får man den mest exakta modellen för hur ljudet sprider sig i rummet. Tyvärr går detta att lösa analytiskt endast i ett mycket begränsat antal fall, som t.ex. i helt rektangulära rum. Då måste man använda sig av numeriska metoder. Många av dessa beräkningar är omfattande, och lämpar sig därför bäst för låga frekvenser, som är minst beräkningskrävande.

Numeriska beräkningar kan göras med FEM (finita element-metoden), som beräknar hur vågorna utbreder sig i en matris av element som skall representera mediets partiklar, eller BEM (Boundary Element Method), som gör beräkningarna kring rummets gränser. Fördelen med dessa metoder är att man kan öka upplösningen på de ställen där man behöver, och man kan lätt koppla ihop flera modeller. [x]

En annan numerisk beräkningsmetod baserar sig på att översätta vågekvationens derivator till motsvarande finita differenser. Denna metod lämpar sig bättre för auralisering, men den faller tyvärr utanför det här arbetets område. Mer om detta finns att läsa i [x].

Strålbaserad modellering

När man strålbaserat modellerar ett akustiskt rum behandlar man ljudet som strålar, och

bortser helt ifrån ljudets vågegenskaper. Interferens och diffraktion är två fenomen som man inte tar hänsyn till. Metoden ger bra resultat när ljudets våglängd är stor i förhållande till det reflekterande materialets yta, och liten i förhållande till ytorna i rummet.

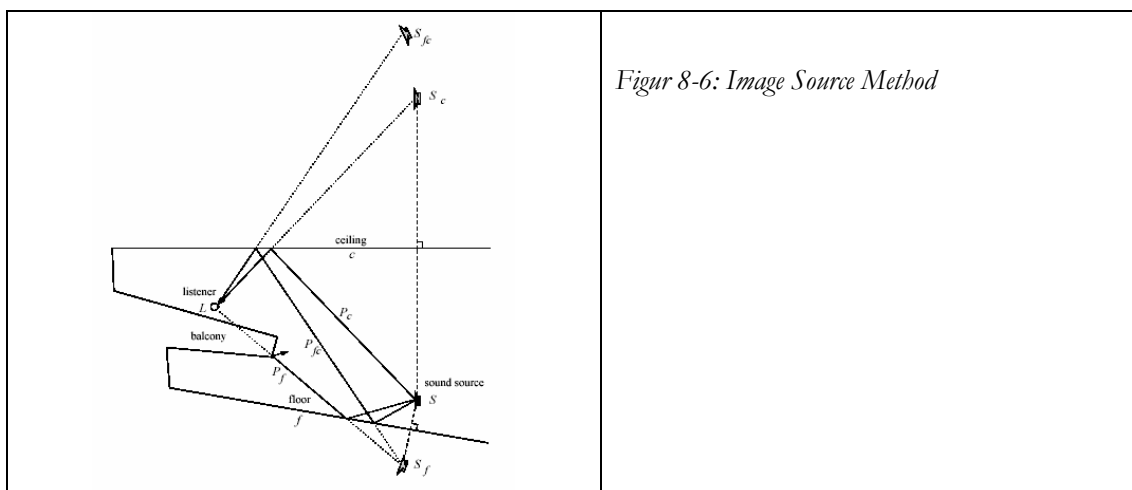
Vid strålgångsberäkningar vill man beräkna alla tänkbara reflektioner ett ljud kan ta. För att göra det kan man använda sig av två metoder. Antingen strålmotivering eller image-sourcemetoden.

Strålgångsmetoden

Genom att simulera att ljudkällan skickar ut strålar av ljud statistiskt slumpmässigt och jämt fördelat över en sfär och beräkna hur var och en av dessa strålar reflekteras i rummets ytor får man fram om strålen når lyssnaren eller ej, och efter hur många studsar. Lyssnaren simuleras som en volym, vanligtvis en sfär, och om strålen inte träffar volymen "kastats den". Vanligtvis räknar man med spekulär reflektion, d.v.s. att ingående vinkel är lika med utgående vinkel. Även diffusa reflektioner har testats, vilket är mer komplext.

Image-source-metoden

Image-source-metoden används för att beräkna reflexer och speglingar inom 3D-grafik, men som också kan appliceras på att beräkna reflexer, d.v.s. ekon, inom akustik. Istället för att räkna ut hur varje våg reflekteras i väggarna så låter man spegelbilden av ljudkällan utgöra en ny ljudkälla, varpå man beräknar om den är synlig eller ej (Figur 8-6). Det man vinner med image-sourcemetoden är att om lyssnaren rör sig behöver man endast göra en koll om spegelbilden är synlig eller ej, istället för att räkna om vinklar och reflektioner. På så sätt sparar man beräkningskraft, speciellt i det fall lyssnaren rör sig, som i en interaktiv virtuell värld.



Figur 8-6: Image Source Method

Statistisk modell

Statistiska modeller som Statistisk Energianalys (SEA) lämpar sig bra för mätningar av brusnivåer i sammankopplade system. Dessa metoder lämpar sig inte för auralisering, eftersom de inte ger en signals temporala beteende, utan räknar istället med statistiska värden.

8.9.3 Lyssnaren

Lyssnaren bestämmer ett ljuds position med hjälp av åtta olika metoder:

- tidsfördröjning,

- intensitetsskillnad,
- ytterörats svar,
- eko från skuldrorna,
- rörelse av huvudet,
- tidiga ekon,
- efterklang samt
- synintryck.

De fyra första av dessa är statiska, och de fyra sista är dynamiska, dvs. förändras med tiden.^[xxv]

Tidsfördröjning

Genom att bestämma tidsskillnaden mellan de båda öronens signaler så kan vi få information om ljudkällans position. Detta är den främsta källan för information om ljudkällans positionering i sidled.

Intensitetsskillnad

Lyssnarens huvud skuggar mer eller mindre mycket av ljudet som når öronen. ”Skuggan” ter sig i tidsfördröjning p.g.a. den förlängda vägen ljudet måste färdas för att nå det borte örat, samt en filtrering av vissa frekvenser. Denna information kan hjälpa oss att bestämma positionen av ljudkällan. Skuggan av huvudet kan modelleras med hjälp av HRTF.

Reflektioner i ytterörat

Ytterörat reflekterar framförallt höga frekvenser in till innerörat, vilket kan leda till att frekvenser kan uppfattas komma från ett annat håll än de gör, p.g.a. reflektion. Även ytterörat kan modelleras med HRTF.

Reflektioner från skuldrorna

Frekvenser mellan 1-3 kHz reflekteras mot lyssnarens skuldror och bål. Detta är dock inte den främsta lokaliseringmetoden utan den är mindre betydande än de tidigare nämnda.

Rörelse av huvudet

En av de viktigaste metoderna för att bestämma positioneringen av en ljudkälla är att vrida på huvudet. Detta sker oftare vid höga frekvenser, beroende på att höga frekvenser har svårare att ”komma runt” huvudets skugga, och därmed blir svagare. För att kompensera detta vrider vi på huvudet till ljudets riktning, då minimal skugga uppnås.

Tidiga ekon och efterklang

Med hjälp av att lyssna på rummets klangbild kan vi bestämma mycket av rummets karaktär. Mer om detta i föregående kapitel.

Synintryck

Synen fungerar som en referens, för att lokalisera ljudkällor.

8.10 Realtidsapplikationer

Realtidsapplikationer som t.ex. VR-tillämpningar kräver att beräkningsmetoderna är tillräckligt snabba för att kunna användas i realtid. Med dagens datorer är det därför inte möjligt att göra vågledarbaserade (wave-guide), eller strålbaserade (raytracing)

beräkningar med särskilt många reflexer alls. Man förenklar därför modellerna genom att beräkna det direkta ljudet, och de tidiga reflexerna (0-100 ms) med t.ex. image-sourcemetoden och efterklngen med ett rekursivt digitalt filter. Efterklngen beräknas med en generell formel som matas med generella parametrar som man i förväg mäter upp för rummets karaktär, och som alltså inte förändras beroende på lyssnarens position. Detta ger en ganska exakt simulering av de tidiga reflexerna, och en mer diffus, approximerad simulering av efterklngen, vilket passar bra in på vår uppfattning av omvärlden.

Man kan också välja att dela upp beräkningarna beroende på frekvensområde. T.ex. så passar wave-guide-beräkningar bättre på låga frekvenser, och höga frekvenser beräknas bäst med raytracing.

8.10.1 3D-ljud i spel

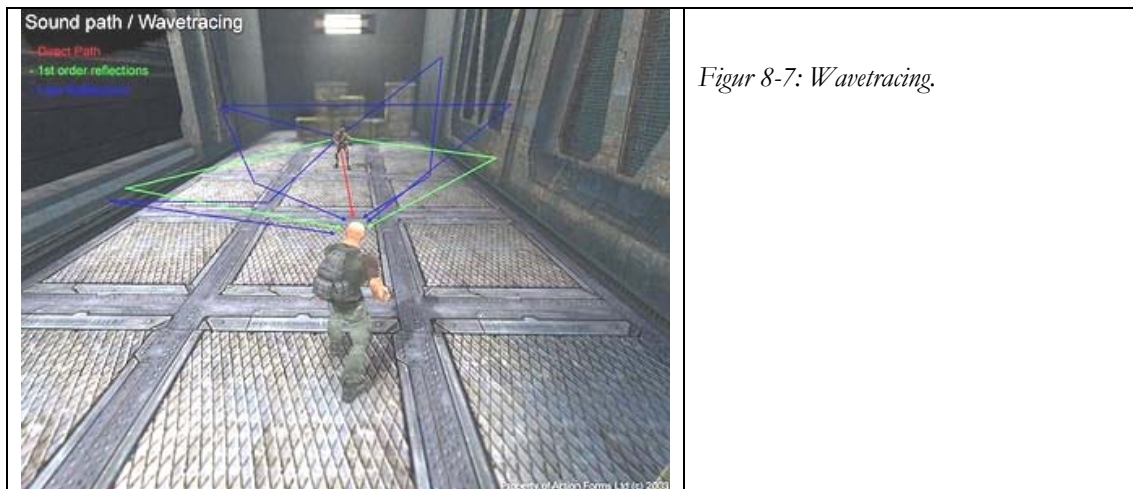
Det finns ett begränsat antal hårdvaru-API'er (Application Programming Interface) inom spelmarknaden: Windows Multimedia, Direct Sound, OpenAL, Aureal A3D. Utöver dessa finns även mjukvaru-API'er eller så kallade "wrappers". De flesta spel har sina egna wrappers, i vilka man implementerar det stöd man vill ha för olika metoder. Några sådana wrappers är Miles Sound System, RenderWare Audio, GameCoda, FMOD, Galaxy, BASS, SEAL och EAX (egentligen ingen wrapper, men tas upp ändå).

Generellt använder sig spelindustrin av förenklade metoder för att rendera ljud på ett verklighetstroget sätt. Precis som inom datorgrafiken i spel så använder man sig av "fusk", för att göra en lösning som fungerar bra för just det spelet. Detta i kontrast till rumsakustik, där metoderna strävar efter att vara så verklighetstroga som möjligt. Exempel på funktioner som en spelmotor kan ha är:

- Rendera avstånd genom att sänka amplituden och dämpa höga frekvenser om ljudet är längre bort ifrån lyssnaren.
- Beräkningar med hjälp av HRTF.
- Möjligheter att ge objekt som rör sig en dopplereffekt.
- Rendera stora ljudkällor (t.ex. tåg) som många små ljudkällor istället för som en punkt. (s.k. Volumetric Sound Sources) [xxvii]

Ljudteknologin inom spelmarknaden fokuserar sig på snabba rörelser och kraftiga explosioner i basregistret, vilket är en viktig ingrediens i ett datorspel. 3D-motorn i Half-Life 2 klarar av att rendera skottlossningsljud som ett kontinuerligt sub-basljud som rör sig genom luften. [xxviii]

Aureal (uppköpt av Creative) har utvecklat ett API för att rendera ljud med vågbaserad beräkningsteknik (Figur 8-7), som beräknar tidiga reflektioner genom geometri hämtad från spelets grafiska information. Varje material har sitt eget reflektionsindex, som kan ställas från total reflektion till total absorption. Detta är beräkningstungt, men ger en i nuläget oöverträffad verklighetskänsla.



Figur 8-7: Wavetracing.

Alternativet till vågbaserad rendering är att använda sig av förenklade parameterstyrda ekon, där varje rum har parametrar för efterklangstider och liknande, och där ingen hänsyn tas till den faktiska geometrin i rummet. Ett exempel på parameterstyrd rendering av ljud är API:et "EAX Advanced HD", som ger stora möjligheter att med hjälp av parametrar modulera upp rummet. Programmeraren ges 25 parametrar för omgivningen, och 18 parametrar för ljudkällan.

För att få det mer verkligt kan man låta parametrarna förändras gradvis när lyssnaren förflyttar sig mellan två olika miljöer (Enviromental morphing).

Vissa motorer har även tre olika metoder för att dämpa ljud efter hur ett eventuellt hinder mellan lyssnaren och ljudkällan ser ut.

- *Vägg*: Direkt ljud dämpas, reflektioner dämpas
- *Pelare*: Direkt ljud dämpas, reflektioner är oförändrade
- *Dörröppning*: Direkt ljud oförändrat, reflektioner dämpas.

8.10.2 Lagg i Audio

3D-ljud som förändras beroende på hur användaren rör sitt huvud är precis som 3D-grafik känsligt för tidsförskjutning, så kallad lagg. Undersökningar har gjorts inom grafisk VR, där man kommit fram till att en fördröjning på mer än 50 ms av det man ser på skärmen kommer att upplevas som störande hos användaren, och det kan även ge upphov till illamående.

8.11 Tekniska verktyg

För att kunna uppleva de framräknade simulerade audiomiljöer som redogjorts krävs det viss utrustning. I detta kapitel tas de viktigaste verktygens för- och nackdelar upp.

8.11.1 Positionering

För att kunna interagera med en virtuell miljö genom rörelse krävs det ett system som känner av var mottagaren befinner sig, så att rätt miljö kan renderas. Detta kallas för en "tracker". Inom grafisk VR finns det flera olika sätt att göra detta, beroende på applikation. Man brukar tala om sex frihetsgrader, vilket innebär att man måste mäta x, y och z, men också de tre axlarnas rörelse runt sig själva ("yaw", "pitch" och "roll"). Några av de mest intressanta sexgradiga trackermetoderna är:

- *Elektromagnetiska trackers*. De fungerar utan sladdar och kan monteras på flera olika

ställen på kroppen. Dock är de känsliga för störningar och fungerar inte på så långa avstånd.

- *Ultraljudstracker* jobbar antingen genom att mäta fasskillnaden i ljudvågorna, eller att mäta tiden det tar för ljudvågen att färdas. Dessa är inte så störningskänsliga, men kräver fri sikt mellan mätare och mottagare.
- *IR-tracker* arbetar genom triangulering av IR-ljus. Detta kräver också fri sikt.
- *Tröghetsstracker* möjliggör fri rörelse för användaren och jobbar med att mäta tröghetsmomentet med t.ex. mini-gyroskop. Dessa är dock inte helt exakta, och kan driva upp till 10 grader per minut.

Audio-VR-systemet LISTEN, som nämnts tidigare, använder sig av ett lokalt positionerings-nätverk med hög precision för att kunna känna av hur lyssnaren vrider huvudet och beroende därav kunna rendera olika ljud. Tekniken är under utveckling, så därför är det svårt att få information, men författarnas antagande är att man använder sig av ett lokalt radionät, liknande GSM-positionering, där lyssnaren har två antenner på varje sida av huvudet.[ii]

Trackers kan användas även för att minska överhörning mellan högtalare i ett surroundsystem.

8.11.2 Binaurala mikrofoner

Binaurala mikrofoner säljs i par, och är ett mycket realistiskt sätt att uppta en verklig situation rumsligt. Genom att montera två små mikrofoner (se bild nedan) i öronen kan man spela in det som händer lyssnaren på ett mycket naturtroligt sätt. Mikrofonerna tar upp rummets atmosfär, hur lyssnaren rör sig i rummet samt hur lyssnarens kropp dämpar t.ex. ljud underifrån oss.



Figur 8-8: Binaurala mikrofoner monterad på ett dockhuvud [xiv]

8.11.3 Högtalare/Hörlurar

Nackdelen med högtalare är att det alltid uppstår ett läckage (crosstalk) mellan de ljud som är avsedda för ena örat, in till andra örat. Detta utgör en begränsning för hur exakt ljuden kan positioneras med ett högtalarsystem. Ett annat problem är att eftersom man ofta bara använder sig av en sub-bas i ett surroundsystem, så kan det vara svårt att positionera effekter som ligger i basregistret. Bastoner anses vara svårare att positionera, men man kan fortfarande höra deras riktning under 200 Hz, vilket ofta är gränsen för sub-bashögtalare.

9. Wave Field Synthesis

Stefan Brunner, Jonas Jangvad, Ken Johansson, 2003

This article describes the concept of Wave Field Synthesis (WFS), how the system works, its limitations, and possible fields of application.

9.1 Introduction

When one looks back at the development of surround sound systems, it seems evident that the developers had in some respect a conceptual common ground—they all wanted to create virtual sources that by some technical means seem to originate from any direction of the area surrounding the listener. The results, when one compares the experience of the artificial sound with hearing the natural one, are not satisfying so far. Of course, if it comes to sound effects, there have been stunning developments in the past ten years. The developers of WFS had a completely different approach – what if the soundfield, that would be established by any conceivable source in any conceivable room could just be reproduced – physically correct and in every respect alterable? What if we could clearly localize a single musician in an orchestra and, if we want to listen to him closely, just “walk towards him”? And, what more if we could actually walk around a sound source, listening to it from various directions?

In this report we will try to show, if and how WFS can give answers to these questions.

9.1.1 A short history of Wave field Synthesis

The research and development of Wave field synthesis has been going on for more than ten years. It was introduced by Berkhout and deVries in 1988. Those main pioneers can be found at the Technical University of Delft, where the idea of WFS started as a spin-off of techniques that were supposed to improve seismic measurements. Much research has also been done at the Fraunhofer Institute, Germany. Today, the main development can be found within the CARROUSO project (**creating, assessing and rendering in real-time of high quality audio-visual environments in an MPEG-4 context**). Briefly, the main goal with this project, funded by the European Union, is to develop technology for sound field transfer from one place to another. The project deals with everything from recording to auralization, which mainly is performed with WFS.

WFS is still the object of intense development and research. Much is left to do and it may take some time before it reaches the commercial market, although there are some very interesting and actually working applications to be mentioned (see 9.4).

9.2 The theory behind WFS

9.2.1 The basic idea

If we take a closer look at the techniques used so far to reproduce spatial sound it occurs that they all have their basic idea in common – to transmit the spatial information to the listener by creating phantom sound sources. In real life there are no phantom sources. We gather spatial information by interaural time and level differences caused by a changing sound field around us that is dependent on every single sound source. The approach of Wave Field Synthesis is to recreate the physically correct sound field in the listening room as it would “look” as if the source of sound were actually there.

9.2.2 The Huygens principle and the Kirchhoff- Helmholtz Integral

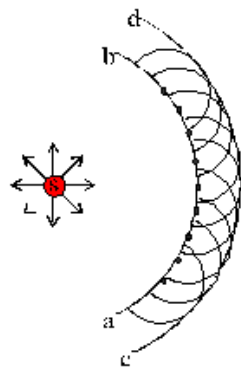


Figure 9-1: Huygens' Principle

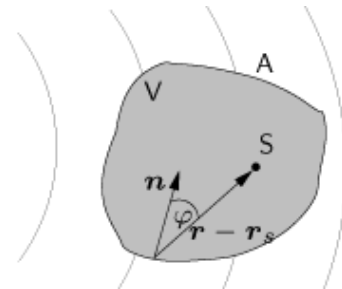


Figure 9-2: Properties of the K-H integral

In 1678 the Dutch mathematician Christian Huygens formed a principle in his *Traite de la Lumiere* that states two basic ideas:

1. Every point of a wave front can be seen as the center of a fresh disturbance and the source of a new train of waves.
2. Every wave front can be considered as an envelope of all of the elementary waves.

Figure 9-1 illustrates this phenomenon. The single sources on the inner circle (a,b) form a new wave front (c,d), which is (when we consider an unlimited number of secondary sources) equal to the wave front that the main source would have produced. Although Huygens referred merely to light waves, this principle is also true for sound waves. The secondary sources can simply be considered as being monopole sound sources. Though this is a very “intuitive” claim, the Kirchhoff-Helmholtz Integral (1) provides the mathematical foundation, which will be discussed here very shortly. The interested reader can refer to [12], [9] for a deeper mathematical insight and the limitations of the principle.

$$(1) \quad P(\mathbf{r}_s) = \frac{1}{4\pi} \int_A \left[P(r, \omega) \frac{\partial}{\partial n} G(r, \omega) + j\omega \rho V_n(r, \omega) G(r, \omega) \right] dA$$

The basic conclusion of the Kirchhoff-Helmholtz Integral is, that the sound pressure level of any source inside the volume V is only dependent on the normal component of monopole sources on the surrounding area A (Figure 9-2). This statement holds only with respect to a number of constraints, coming with the integral. To get rid of the dipoles, described in the integral, we have to carefully choose the Green function $G(r, \omega)$. The integral also states that sound signals can occur inside all V. Since we do not want to fill our whole living room with speakers, we state, that an array of speakers along A is just satisfying. The constraint of a place-continuous placement of sound sources is impossible to fulfill in reality, so we just stick to a discrete source placement. Finally, to feed every speaker with the “correct” signal several equations are to be solved, namely Rayleigh integrals, to give us the timing and power-weighting information for the final signal. The authors leave the detailed explanation of this process to [12] and [9].

9.2.3 Application of Huygens' Principle to a Sound Field

To reproduce a correct sound field, the WFS proposes to set up a linear array of closely spaced speakers to simulate the secondary monopole sources as shown in (Figure 9-3). To fulfill the constraints of an unlimited number of sources the number of speakers has to be as high as possible. Although it is theoretically possible to create a true 3-D soundfield, in

practice the array is limited to the horizontal plane, mostly being equal to the earplane of the audience. Good results have been achieved by de Vries and Berkhout of the university of Delft, Netherlands, using an array of 160 speakers forming a linear array completely surrounding the audience. Measurements of the sound field caused by this array show that the WFS technique is even capable of representing sound sources that are actually inside the speaker array (Figure 9-4). This means, of course, that one of the main drawbacks of common surround sound systems – the sweet spot – is wiped out. The “sweet area” of a WFS speaker array is basically the square inside the array, as long as the listener is outside the near field of the speakers. The sound source simply just stays where the sound engineer intended it to be.

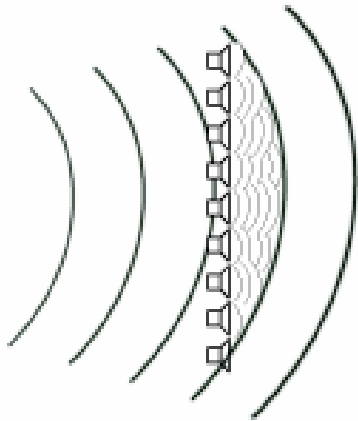


Figure 9-3: Representation of monopoles by speakers

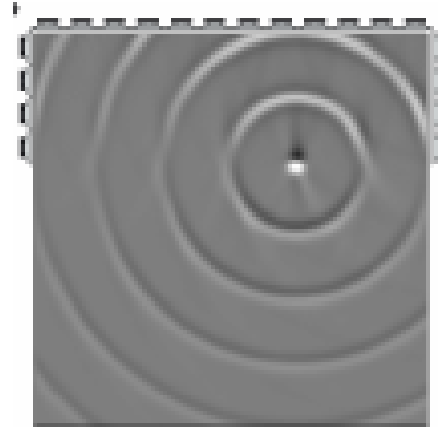


Figure 9-4: Simulated soundfield using a 2D array

9.2.4 Disadvantages of the system

Some of the disadvantages of WFS, apart from the great cost and requirement of advanced technology, are foremost *spatial aliasing* and *truncation effects*.

The spatial aliasing frequency is determined by the distance between the loudspeakers and the maximum angle of incidence of the wave field relative to the array of loudspeakers. It can easily be calculated by the following formula:

$$(2) \quad f_{\text{al}} = \frac{c}{2\Delta x \sin \alpha_{\text{max}}}$$

If the distance between the loudspeakers for example is 10 cm the minimum spatial aliasing frequency will be 1700 Hz. Thankfully, the human auditory system is not very sensitive to the spatial aliasing effect.

Truncation effects are caused by wave fronts emerging from the loudspeakers at the end of the array. This can cause problems with diffraction within the listening area, this effect is though often minimized by filtering in the spatial domain.

9.3 A Stepwise Explanation of the Analysis/Synthesis Process

To make more easy to understand the whole process that is necessary to reproduce a sound field in a physically correct way, we take a step-by-step approach. This chapter deals with the elements shown in the figure below (Figure 9-5). We explain the techniques of recording the necessary data, the problem of data transfer and the synthesis process with respect to room compensation and adding synthetic room information.

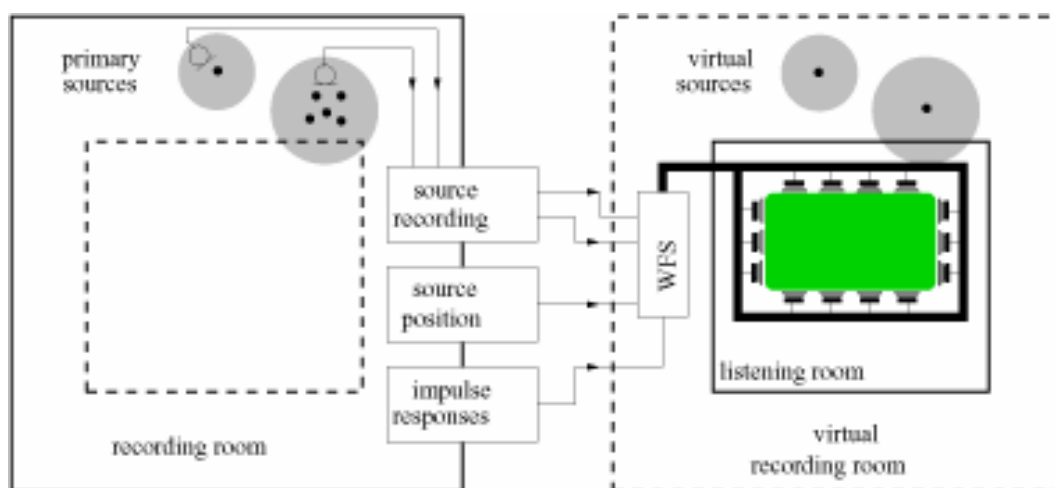


Figure 9-5: The Analysis/Synthesis process

9.3.1 Recording

To achieve a satisfying result concerning the spatiality of a sound in any listening room, it is necessary to record the “dry” signal of the source and its room components separately. The advantage of this procedure is, that the “virtual” source can be reproduced in any listening room (see 9.3.3). The spatial information is recorded through the impulse response of the room at the position of the source, and the “dry” signal through spot microphones in the very proximity of the source and a setup of microphone arrays. Where spot microphones are not sufficient to record the whole source signal, e.g., with a large choir, stereo recording techniques are used, creating a left-right image, that can later be dealt with as a normal virtual source. In some cases several sources can be captured by just one spot microphone. They can then be referred to as “notional source”. Of course, the room information can always be digitally altered to achieve certain effects, such as the Swedish Radio Orchestra playing in a bathroom. Note that, ideally, the number and characteristics of the microphones should be equivalent to those of the speakers in the listening array. Since this is rarely possible, extrapolation methods are used to compensate for the difference (see 9.3.3).

9.3.2 Transmission and Storage

One of the biggest drawbacks of WFS so far is the huge amount of data that has to be transmitted. Not only is one channel necessary for each source, but there is one more for the impulse response of that source, one for its position in the room (when we are dealing with a moving source, like in the theatre, the motion has to be tracked) and a number of channels from the atmo measurements. This adds up to a number of desired channels rising proportionally with the number of sources. In a recent European project, called CARROUSO, the data is stored using an advanced MPEG4 code, which is able to store scene information. The problem is that the amount of data channels cannot easily be reduced, since the whole system has to be independent, which means that it has to be adaptable to any thinkable listening room. This is an issue of current research.

9.3.3 Room Compensation and Synthesis

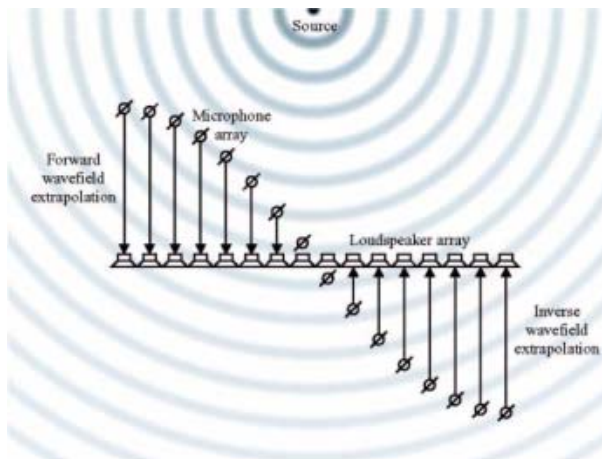


Figure 9-6: Wave field extrapolation

So far we have recorded the source signals and a lot of meta-data. As for the playback, the biggest problem is that the system does not “know” the room in which it will be set up. The first thing to do is to measure the impulse response of this room and create a filter that will later subtract all audio information that would be added by just the room from the output signal. Secondly, the signals from the different microphones are decomposed into their spatial partials, a process called “plane wave decomposition”, because we want signals that originated from the front basically being sent by the front part of the array. Since the WFS system should be independent on what kind of speaker array we use, a process is applied called “wave field extrapolation”. This processing takes into account the difference between the original number, spatial alignment and directivity of the microphones used during the record session on the one side and those of the speakers in the present array on the other side (Figure 9-6 shows the simple compensation for distance differences). The actual “synthesis” is “just” a convolution of the “dry signals” gained from the spot microphones with the responses of the several filters that are computed with all the scenery details mentioned above. Through a corresponding system of delays and amplifiers, the wavefronts that should reproduce the original sound field, are sent out of the array. Up to this point of the whole process it is of course possible, to alter every detail of the scenery. This is often referred to as “model based acoustic rendering”, since it is possible to apply any kind of acoustic scenery by referring to models stored in a database. One important issue is the addition of reverb and reflexions. This is quite propable if the original recording took place in, e.g., a studio with poor reverberation. In the case of WFS, artificial reverb is most easily added by sending out plane uncorrelated waves, originating from different directions of the room. Experiments at the TU Delft have shown, that just 4 plane waves, coming from the 4 different sides of the speaker array are sufficient to give the impression of a diffuse reverb. To simulate early reflections the most effective way is to create virtual sound sources at the “walls” of the virtual room one wants to represent.

9.4 Applications for Wave Field Synthesis

There are a number of applications for which WFS can be of use to create a better spatial sound field than is possible with conventional means. With traditional electro-acoustic systems, the sound field is spatially correct at only a small “sweet spot”. Systems based on WFS, however, generate a wave field with natural properties in time and space in an extensive audience area, giving a better volume result.

9.4.1 In movie theatres



Figure 9-7: WFS speaker array in the Ilmenau Movie Theatre

Only a few people in the cinema audience can usually experience the optimum sound in a movie theatre. The major disadvantage of the current movie theatre surround sound systems lies in the fact, that the listener and the loudspeakers must be placed at certain positions. Outside of this determined range, the quality for optimal sound cannot be provided. Other drawbacks of today’s surround sound systems are the lack of realistic reproduction of the position of natural and also virtual sound sources. Hence the WFS-principle is ideal for cinema applications, to reproduce an accurate spatialization of sound and therefore a more natural sound impression for nearly all of the people in the theatre. Also playing discrete channel recordings, such as stereo or 5.1 surround, over a WFS-array drastically enlarges the optimal listening area, the sweet spot. This is accomplished by placing each audio channel as virtual sources at greater distance and even outside of the room. This has the benefit that the left and right channels or the front and rear are in the correct position for all of the listeners rather than only for those sitting in the centre of the room. This improvement of the sweet spot also adds to a better sound impression in the entire reproduction room.

Sound systems built around the WFS-principle are installed in full scale at only a few places around the world. One place is the movie theatre “Lindenlichtspiele” in Ilmenau, Germany, and it was the world’s first theatre to be outfitted with a WFS sound system. The system is perfected at the Fraunhofer Institute in Ilmenau, Germany, and is named IOSONO. The Lindenlichtspiele theatre has 89 seats and has 24 panels of all together 192 loudspeakers lining the room (Figure 9-7). Each panel has eight two-way speakers and eight 50-Watt amplifiers (Figure 9-8). The panels were developed by the Fraunhofer researchers to accept an ADAT input.



Figure 9-8: Loudspeaker panels equipped with eight two way speakers and eight amplifiers each.

The panels receive their signals from computers, which are equipped with ADAT soundboards and specially developed software. At the central control unit a Dolby Digital sound processor is also integrated with the system for the compatibility with 5.1 encoded films. But the best results will be obtained from special cinema productions, where the sound processing is optimised for WFS. The audio input materials to the system come from media such as DVD, CD or hard-disk. Everything around the IOSONO sound system is scalable in size to fit different types of rooms and room sizes. The system is run daily with more and more people having the chance to enjoy this extraordinary sound experience.

9.4.2 At live events

Today, traditional PA-systems offer stereo sound and focus mostly on the reproduction of a high sound level and a diffuse sound field. Because traditional sound systems only can bring out the natural and realistic sound partially, these are often being neglected features at live events. In contrast to conventional means of reproduction WFS offers exactly these features without omitting the very basic demands for volume and acoustic pressure.

By using directional microphones, focussed microphone arrays or source tracking systems the exact spatial position of all sound objects can be known and therefore processed in the central control unit. The direct sound fields at the position of a loudspeaker array addressing the audience area can then be calculated and used to drive the individual elements of the array. This way, replicas of the primary field are generated which can be amplified with full preservation of the original properties in time and space to reinforce the voices of speakers or singers in shows, musicals, operas etc.

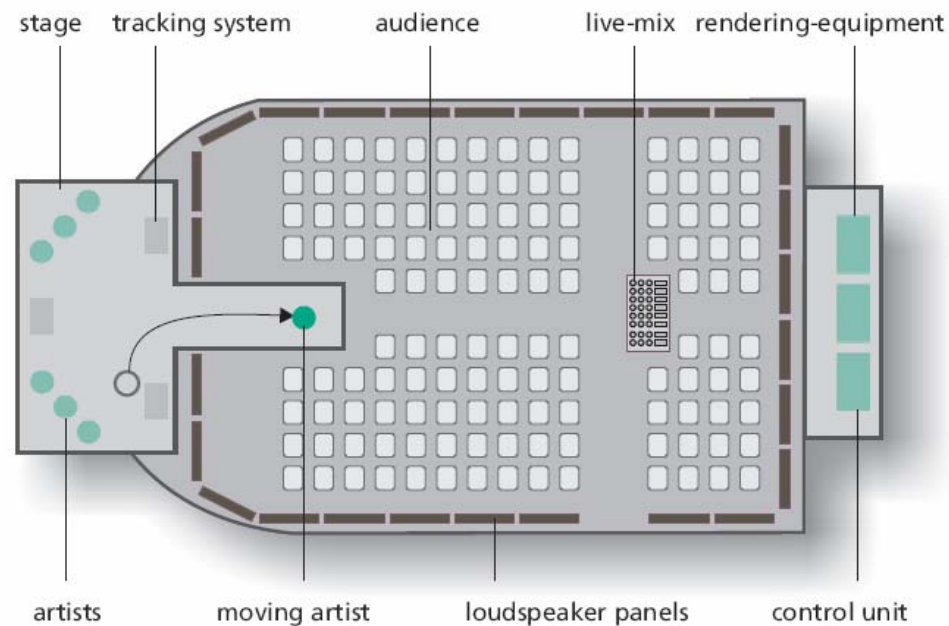


Figure 9-9: Live event configuration for WFS sound field setup

Figure 9-9 shows an example of a WFS sound field configuration setup for live events. Here the loudspeakers are placed along the walls of the room with the stage reaching out into the theatre. If using the above mentioned IOSONO system, about 40 panels are needed for an auditorium with 350 seats, whereas an auditorium with 7,000 seats will require about 120 panels in the front and on the sides. In general, conventional recording techniques can be kept in use, therefore the sound engineer remains in total creative control of the acoustic impression though becomes relieved from technical overhead. This new technology enhances artistic creativity in live events by adding a new dimension of defined control, the spatial sound. Every spectator experiences a real and natural sound environment. Genuine sound and reverb effects can be achieved to enclose every listener in a common sound sphere.

9.4.3 Auralization

To evaluate the quality of a built and a not yet built concert hall or a theatre, the presently used auralization systems are based on binaural reproduction with the help of HRTF's (Head Related Transfer Functions). By using this binaural reproduction with headphones the perceived result often mismatches the true sound field. With the WFS principle on the other hand a much more accurate impression can be obtained.

9.4.4 Home theatres

A big drawback of today's home theatre systems is the small sweet-spot area and low resolution in the front to back sound movement. If introducing a WFS system to your living room the sweet-spot problem with the conventional stereophony and surround sound would be fully eliminated. Special loudspeaker arrays, converters and amplifiers will be needed to find acceptance by the consumer market, although combination with wide screen television makes it possible to have a true WFS cinema at the home.

9.4.5 Virtual reality

In the field of virtual reality the WFS method can help enhance the experience greatly. Especially when it comes to 3D cinemas, where the visual sources enter the audience area, the sound source could be focused to the same position inside the audience area giving a greater experience.

9.4.6 Simulators

Because of the complexity of modern airplanes, vehicles and large vessels, high quality simulation of the real environment, including the sound field, is getting more and more important. A simulator equipped with WFS sound technology would greatly enhance the sound environment and make the simulation more realistic.

9.4.7 Teleconference systems

When using the method with large video walls to connect two meeting rooms in a virtual way for teleconference systems problems can occur. It is known that as soon as several people start to talk at the same time it is very difficult to concentrate on the desired speech signal. The WFS system could provide a much better spatial quality of the sound and could generate a natural virtual acoustics, giving the illusion of being right in the other conference room.

9.5 Conclusion

When we look at the basic idea behind WFS compared to conventional surround sound production, we consider the approach of synthesising a physically correct sound field to be superior to synthesising single sources. Basically it sounds more natural. Since the system is still in an early development state one can hope that the mentioned major drawbacks, like high cost and huge amount of data, will soon be defeated. The authors of this article believe that WFS is a very promising 3D-auralization system for the future.

9.6 References

- [1] Brandenburg, K. Wave Field Synthesis, Optimum Listening Pleasure for Live Events. Institut für integrierte Schaltungen. Fraunhofer Institut.
http://www.iis.fraunhofer.de/amm/download/iosono_live_en.pdf
- [2] Brandenburg, K. Wave Field Synthesis, Spatial Sound in Movie Theaters. Institut für integrierte Schaltungen. Fraunhofer Institut.
http://www.iis.fraunhofer.de/amm/download/iosono_basic_en.pdf
- [3] Diemer de Vries and Marinus M.Boone, Wave field synthesis and analysis using array technology. Proc. 1999 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, New Paltz, New York, Oct. 17-20, 1999
http://www.soundcontrol.tudelft.nl/Research_projects/WFS_IEEE_99.pdf
- [4] Günther Theile, Helmut Wittek, Markus Reisinger. Institut für Rundfunktechnik GmbH. Wellenfeldsynthese-Verfahren: Ein Weg für neue Möglichkeiten der räumlichen Tongestaltung. 2001.
http://www.irt.de/wittek/hauptmikrofon/TMT_WFS_TheileWittekReisinger.pdf

- [5] Henriksen, Peter N. Light (course material at the University of Akron). 1996.
<http://nebula.physics.uakron.edu/~light/polarization/diffraction/diffraction.html>
- [6] Klehs, B. and Sporer, T. Wave Field Synthesis in the Real World: Part 1 – In the Living Room. Convention Paper 5727, Audio Engineering Society’s 114th Convention 2003 March 22–25 Amsterdam, The Netherlands.
- [7] Marinus M. Boone, Acoustic Rendering for Virtual Environments. Snowbird, Utah, May 26-29, 2001
- [8] Marinus M. Boone. Acoustic Rendering with Wave Field Synthesis.2001.
<http://www.bell-labs.com/topic/conferences/campfire/abstracts/boone.pdf>
- [9] Rabenstein, Priv. Doz. Dr. R. Mensch- Maschine- Kommunikation. 2002.
http://www.lnt.de/WORLD/LNT/lehre/mms/download/MMK_Kapitel3_Teil6.pdf
- [10] Sengpiel. Das Prinzip von Huygens. UdK Berlin. 2001.
www.sengpielaudio.co.uk/DasPrinzipVonHuygens.pdf
- [11] S.Spors, H.Teutsch, R.Rabenstein. High-Quality Acoustic Rendering with Wave Field Synthesis. University of Erlangen-Nuremberg. Erlangen, Germany, November 20-22 2002.
http://www.lnt.de/LMS/publications/web/lnt2002_21.pdf
- [12] Veselov, Alexander P. Huygens’ Principle. November 2002.
<http://www.lboro.ac.uk/departments/ma/preprints/papers02/02-49.pdf>
-

9.7 Image Sources

Figure 9-1

<http://nebula.physics.uakron.edu/~light/polarization/diffraction/diffraction.html>

Figure 9-2, Figure 9-3, Figure 9-5

www.lnt.de/LMS/publications/web/lnt2002_21.pdf

Figure 9-4, Figure 9-6

http://www.irt.de/wittek/hauptmikrofon/TMT_WFS_TheileWittekReisinger.pdf

Figure 9-7, Figure 9-8

http://www.iis.fraunhofer.de/amm/download/iosono_basic_en.pdf

Figure 9-9

http://www.iis.fraunhofer.de/amm/download/iosono_live_en.pdf

10. Test av olika mikrofonplaceringar

Håkan Landsberg, Sten Ljunggren, Martin Höjer, 2004

Vi har spelat in musik live (operasångerska med pianoackompanjemang) med fyra olika mikrofontekniker/uppställningar. Detta har genomförts samtidigt för att sedan jämföra resultaten av de olika inspelnings teknikerna. Vi bestämde redan innan vi gjorde inspelningen vilka kriterier för ljudupptagningen och musikupplevelsen vi ville jämföra. Vi valde tre kriterier: naturtrogenhet, stereobild och rumsuppfattning som bedömdes på en skala 1-3. Det ljudliga resultatet finns dokumenterat på en CD med fyra olika inspelningar av samma musikstycke ”Jag elsker dig” av Edward Grieg.

10.1 Mikrofontekniker

Vid musikupptagning eftersträvar man oftast att få en upptagning av det framförda musikstycket som är så naturtrogen att en senare uppspelning via stereohögtalare korrekt återger upplevelsen av både musikhändelsen och lokalen det framfördes i. Härvid eftersträvar man dels att musikerna, så gott det är möjligt, upplevs ”lokaliserade” från samma virtuella platser i det akustiska rummet som man hörde och såg vid inspelningen. Denna akustiska stereoillusion orsakas av olika amplitud och fas dvs. tidsskillnader för ljudvågorna från källan (musikerna) till lyssnarens öron. Genom styrke och fasskillnader av resp. ljudvågor från musikernas instrument kan vi avgöra i vilken riktning de kommer ifrån; höger, mitten eller från vänster framför lyssnaren. De förutsätter förstås att de båda högtalarna som ska återge musikhändelsen är absolut fasriktiga ”in-phase” samt, naturligtvis, exakt lika frekvensmässigt. De får inte själva förändra fasan hos ljudvågorna vid genererandet från de olika högtalarelementen. Om de sker upplever man en otydlig stereobild där instrumentet är svårlokaliserat i ljudbilden. Det är särskilt viktigt att de låga frekvenserna i musiken (dvs. basen) är fasriktiga från baselementen då annars uttuning eller tom utsläckning av basvågorna kan uppstå. När fasriktighet från högtalarna råder avgörs riktning informationen av nivån (amplituden) av resp. signal i och från de bägge högtalarna. Detta kallas ”*intensity stereo*” dvs. inga tidsskillnader föreligger. Denna ”exakta” stereobild kan man åstadkomma med två mikrofontekniker.

Den ena metoden innebär att man ”styr” varifrån ljudet kommer (vänster-mitten-höger) genom att ha en särskild mikrofon direkt framför varje ljudkälla (instrument) och sedan reglera nivåerna via panorerande potentiometrar i en mixer där ljudet ”blandas”. På så sätt kan man göra en panorering av de olika ljudkällorna till samma illusoriska lokalisering i ljudbilden som de hade vid den faktiska uppställningen av musikerna tex. sångaren upplevs stå i mitten och stråken finns till höger och pianot till vänster. Denna metod, som är vanlig i studior vid populärmusikupptagningar, kallas **multi-kanal-teknik**. I detta fall upplevs inte rumsakustiken särskilt eftersom mikrofonerna är placerade intill ljudkällan som därvid helt dominerar intrycket. Denna mikrofonteknik ger en mycket ”torr” inspelning utan rumsakustik. Emellertid kan man använda en särskild mikrofon i rummet för upptagning av rummets efterklang (ambians).

Den andra metoden, som används t ex vid upptagning av klassisk ensemble eller större stråkorkester, är **X/Y mikrofonteknik** eller "*coincident pair*". I detta fall placeras två mikrofoner direkt ovanpå varandra (dvs. ingen tidskillnad uppstår) men riktade åt höger resp. vänster ca 90-120 grader från varandra. Det innebär att nivåerna från de olika instrumenten blir olika beroende på hur resp. mikrofon är riktad; ljud från vänster blir starkare i vänster mikrofon och vice versa för höger. Ljud rakt framifrån blir lika starkt (eller svagt) i bägge mikarna, och upplevs således vid återgivningen via stereohögtalare komma rakt framifrån. På så vis åstadkommes också en panorering av ljudbilden vars bredd kan regleras genom att öka eller minska invinklingen av mikarna. Vid X/Y teknik använder man fördelaktligen riktade mikrofoner med njurformad (*kardioid*) ljudupptagningsförmåga. De kallas kardioidmikar till skillnad från rundtagande (*omni-directional*) mikar. Vid denna typ av mikrofonteknik erhåller man en ganska god upptagning av rummets efterklang om man använder mikar av stereo-åtta typ (*crossed eight stereo*) som är lika känsliga för ljud bakifrån.

En tredje mikrofonuppställning är **A/B teknik** (*spaced microphones*) vilket innebär dock att man tillåter viss tidskillnad och frekvensberoende fasskillnad inträffa under ljudupptagningen. Detta för att bättre få med ambiensen i rummet, dvs en viss efterklang, om så önskas. Då är det lämpligt att använda rundtagande mikrofoner som är känsligare för efterklangsljudet från lokalen. Emellertid finns det ingen vetenskapligt belägg för att använda denna mikrofonteknik hellre än ovan nämnda eftersom den ger ett diffust intryck av lokaliseringen av musikerna i ljudbilden (*smearred image*). Den används dock ganska ofta i inspelningar trots att den inte ger en sann stereofonisk naturtrogenhet. Man kan naturligtvis laborera med olika avstånd av mikrofonerna dels till musikerna och dels sinsemellan. En närmare placering till musikerna ger en bredare ljudbild, men risk för hål-i-mitten effekt. En närmare placering av mikarna till varandra kan ge det omvända en för smal stereobild mer lik monoupptagning.

En fjärde mikrofonteknik där man vill variera och utnyttja stereobildens bredd är **M-S stereo teknik**. Härvid betyder M summasignalen från vänster och höger kanal och S är skillnadssignalen mellan kanalerna. Man producerar alltså två signaler M och S. M signalen kan åstadkommas med mikkarakteristiker som åtta, kardioid eller Hyperkardioid medan S signalen alltid är från en mik med åtta karakteristik.

En mikrofonteknik som tidigt prövades för naturtrogen återgivning, men som endast är tillämplig för hörlurslyssning, kallas **binaural stereo**. I detta fall använder man sig av en teknik som efterapar örats sätt att uppfatta ljudvågorna genom att placera två mikrofoner i respektive öra i ett konstgjort huvud (*dummy head*).

10.1.1 Valda mikrofontekniker för musikupptagningen i detta arbete

Vi placerade mikrofonerna i rummet på olika avstånd framför musikerna beroende på deras upptagningskaraktistik och rummets akustiska egenskaper dvs. efterklang. Vi valde dessa fyra sätt för att jämföra musikupplevelsen:

1. Multikanal-teknik med mixning via panoramic potentiometering "Panpot".
2. X/Y teknik
3. A/B teknik
4. Binaural stereo. Konsthuvud teknik

10.2 Mikrofonuppställningar och inspelning

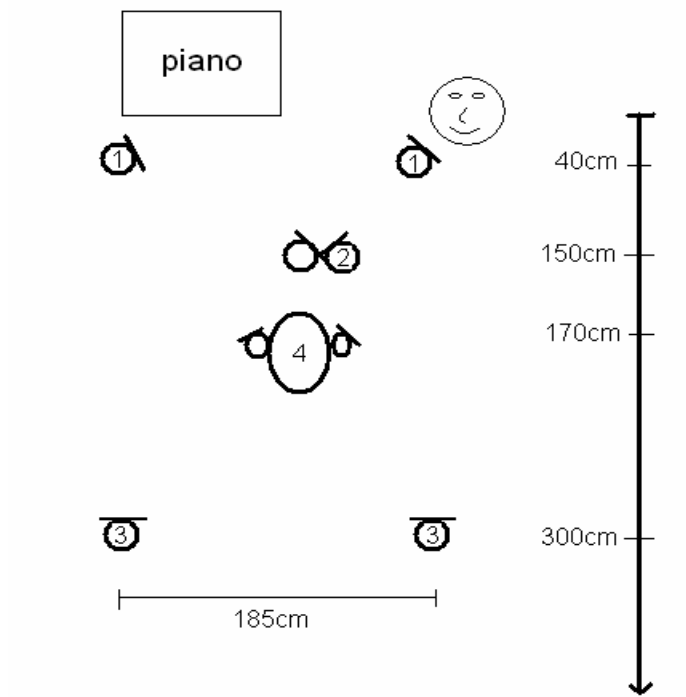
10.2.1 Ljudkällor(musiker) och inspelningslokal

Inspelningslokalen var Andreaskyrkan på Södermalm i Stockholm, där vi spelade in en operasångerska, Ulrika Mjörndal, och en pianist som ackompanjerade henne, Samuel Schönberg. Dessa hade anlitats av Ljudtekniska Sällskapet, LTS, för dess medlemmars inspelningsövningar. Lokalen har ganska stor efterklang men ej såsom i en större kyrka.

10.2.2 Några tekniska data för mikrofonerna och uppställnings-skiss

Mikrofonerna som användes var för

1. Multikanalteknik : en dynamisk Shure SME 58 för vokalissan och en elektret kondensormik Primo framför pianot -bägge med cardioid karakteristik. Dessa placerades nära på ca 40 resp 50 cm:s avstånd från ljudkällan. För ambiensen användes en billigare elektretmik på 4 m avstånd bak i lokalen.
2. X/Y teknik : ett par unidirectional Audio Technica ATM 11 elektret kondensormikar lånades från THM Inst. och placerades 1.5 m framför ljudkällorna.
3. A/B teknik : Två stycken högkvalitativa rundtagande, kondensator studiomikar från Bruel&Kjaer typ 4003 med power supply typ2812 (130 volt) lånades också från inst. Dessa mikrofoner placerades på 3 m avstånd och med 1.85 m inbördes avstånd.
4. Konsthuvud: Sennheiser MKE 2002 (från 1974) med tillhörande rundtagande mikar i öronen på konsthuvudet. (Frekvensgång 40-20 kHz).



10.2.3 Inspelnings-utrustning och -förfarande

Inspelningsmedia var för respektive mikrofonteknik ovan enl. följande:

1. Audio CD-brännare Philips CDR 796 via ett mixerbord Samson MPL 2242
2. Portabel DAT-bandspelare Sony TCD-D100 Walkman (härvid användes den inbyggda A/D-omvandlaren via mikingången).

3. Samma typ DAT men kopplad digitalt till Sonys separata A/D-omvandlare SBM-1.
4. Analog ingång till en HDD, dvs en portabel hårddiskspelare iRiver iHP-120 .

Vi förutsätter att den ovan använda inspelningsutrustningen är av tillräckligt hög kvalitet så att skillnaderna i signalväg/behandling från mikrofonparen och även lagringsmedia, inte väsentligt påverkar det ljudliga resultatet. Vi antar alltså att de slutliga ljudliga resultatet huvudsakligen beror av själva mikrofontekniken och uppställningarna (mikavstånd etc.).

För att ytterligare minimera skillnader och underlätta jämförelsen av mikrofontekniker var vår ambition i gruppen att våra inspelningar gjordes parallellt, dvs helst samtidigt på samma musikaliska tillfälle, men på grund av ett tekniskt problem (tillfällig brumstörning i ett mikpar) är någon mikupptagning från ett annat tillfälle. (Samma musikstycke upprepades nämligen av musikerna flera gånger för att tillgodose alla andra inspelares särskilda mikuppställningar och placeringar.)

10.3 Resultat

Datafilerna från de olika inspelade musikavsnitten från Audio-CD-skivan och den portabla hårddisken överfördes digitalt via USB till en stationär dators hårddisk, och redigerades sedan med ljudredigeringsprogrammet Soundforge 5.0. Datafilerna från DATspelarna överfördes optiskt digitalt via datorns ljudkort (M-Audio Delta 24/96) till hårddisken. Alla ljudfiler normaliserades i Soundforge till samma ljudnivå innan nedbränning på CD-skivan (Nero 6.0 brännarprogram).

10.3.1 Några tekniska problem under inspelningen

Vid uppsättningen av multikanaltekniken upptäcktes tyvärr att mikrofonen som var tänkt för att ta upp ambiensen i lokalen ej fungerade optimalt (den brusade) varvid den signalen till mixern hölls mycket lågt.

Inspelningssituationen blev också något stressig för oss i och med att vi skulle göra fyra inspelningar samtidigt varför vi inte hann få kontroll på också rätt inspelningsnivå till hårddiskspelaren iRiver från konsthuvudmikrofonerna. På iRivern finns ingen synlig nivåmätare att justera inspelningsnivån under gång utan nivån (med headroom)måste ställas in digitalt före inspelningen. Trots den inställda låga nivån räckte ej detta då vokalissan sjöng mycket starkt i de höga partierna. Överstyrningen är dock nivåkompenserad vid normaliseringen på datorn av alla ljudfiler.

10.3.2 Vår musikaliska och tekniska upplevelse av de fyra inspelningsätten

Efter avlyssning av resp. inspelat musikstycke på CD-skivan har vi först enskilt graderat våra fyra upplevelser av musikstyckena i tre ökande positiva steg +, ++ och +++ för respektive kriterier. Ett sammanställt medelvärde av vår samlade bedömning blev som nedan:

<u>Mikrofonteknik</u>	Naturtrogenhet	Stereobild	Rumsuppfattning
1. Multikanal	+	++	+
2. X/Y	+++	++	++
3. A/B	+	++	+
4. Konsthuvud	+++	+++	++

Några subjektiva intryck av oss från de olika mikteteknikerna.:

1. Multikanal: Denna inspelning låter väldigt artificiell och torr (dålig rumsuppfattning) mycket beroende på närmikningen av både vokalissan och pianisten men också på grund av avsaknaden av den planerade mikrofonen för ambiensen. Ljudbilden är dock ganska bra panorerad och rösten och flygeln ganska tydliga i ljudbilden.
2. X/Y: Mest naturtroget med lagom avvägd ljudbild vad gäller direktljud och rumsklang. Stereobilden är inte perfekt men bra.
3. A/B: Låter som man lyssnar långt borta i lokalen och är för långt borta från musikerna så att rumsklangen dominerar. Stereobilden tycker vi dock är relativt bra men något diffus (*smear*). Klart för mycket ambience även om det kan tilltala vissa lyssnare att föreställa sig en konsert i en kyrka. Applåderna i slutet låter däremot naturtroget nära. Vi tror att denna mikteteknik skulle ha blivit bäst om mikrofonerna stod närmare då också de är finare och mest välljudande. Detta eftersom applåderna låter så autentiska.
4. Konsthuvud: Fylligt ljud - flygeln låter "rundare". Vokalissan låter väldigt naturtrogen i de icke starka partierna när de inte överstyr. Inspelningen låter bäst i hörlurar som ju också är meningen med *Binaural stereo*. Betyget sänks något vid högtalarlyssning. Stereobilden är bra och upplevs detaljerad.

10.4 Slutsatser

Skillnader mellan teknikerna

Med vår variant av multikanalteknik fick man ingen direkt Live-känsla av att musiken framfördes i en kyrkolokal.

X/Y-tekniken tycker vi subjektivt upplevs som "bäst" av de testade teknikerna vad gäller bra balans av uppsatta kriterier för högtalaravlyssning. Men vid hörlurslyssning upplevs konsthuvudet som bästa "live-upplevelse" av musiken. Om vi hade placerat A/B mikrofonerna närmare musikerna så hade nog denna teknik varit ett intressant alternativ.

Bilagor :

CD -skiva

Ljudspår 1,2,3,4 . totalt ca 7 minuter.

Fördelning av arbetsuppgifter:

I detta arbete fördelades uppgifterna så att i kyrkan, under inspelningen, bidrog alla gruppmedlemmarna med varsin utrustning och sedan satte vi gemensamt upp och kopplade alla mikrofoner. Sedan ansvarade var och en för "sin" inspelningsdel under tagning. Avlyssning och bedömningar av ljudkvalitéerna gjordes också enskilt av oss varefter vi hade en samlad diskussion, analys av arbetet och drog slutsatser. Skrivning och sammanställningen till denna rapport gjordes av Sten Ljunggren.

Referenser

- *The Art of Sound Reproduction* –Watkinson, John.
- Kompendium i Surroundteknik kap.3 *Stereo recording and microphone Techniques*, TMH, KTH och Univ. of York

Några foton från inspelningen i Andreaskyrkan:



Ljudtekniska sällskapetets medlemmar under inspelning



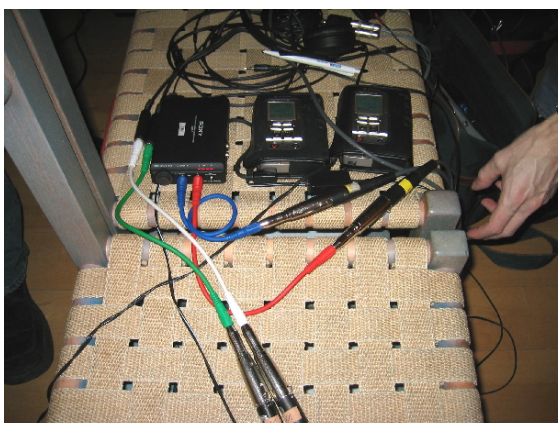
Pianisten Samuel Schönberg inväntar här Stens och Håkans mikrofonavstånds mätning.



Sopranen Ulrika Mjörndal är beredd framför mikrofonerna.



Musikerna instrueras av LTS-medlem före inspelningen.



Vår inspelningsutrustning: DAT bandare..



...och mixerbordet som Håkan och Martin visar.

-
- [ⁱ] Molneryd, Stig L. *Bevara elektroniska medier av ljud och rörlig bild för framtiden*. Arkivet för Ljud och Bild 1998
- [ⁱⁱ] Wikipedia – Phonograph
<http://en.wikipedia.org/wiki/Phonograph> [2004-12-05]
- [ⁱⁱⁱ] Wikipedia – Gramophone Record
http://en.wikipedia.org/wiki/Gramophone_record [2004-12-05]
- [^{iv}] Wikipedia – Vinyl Record
http://en.wikipedia.org/wiki/Vinyl_record [2004-12-05]
- [^v] Magnetic Tape Storage and Handling – What Can Go Wrong with Magnetic Media?
http://www.clir.org/pubs/reports/pub54/2what_wrong.html [2004-12-05]
- [^{vi}] Statens offentliga utredningar SOU 2004:53. *Bevara ljud och rörlig bild*. Stockholm 2004
- [^{vii}] Intervju med Martin Jacobson, teknisk chef på Statens ljud- och bildarkiv. Stockholm 2004-11-12
- [^{viii}] WAV FAQ
<http://www.mp3-converter.com/faq/wav.htm> [2004-12-05]
- [^{ix}] Creating Permanent and Durable Information - Physical Media and Storage Standards
<http://crm.cr.nps.gov/archive/22-2/22-02-10.pdf> [2004-12-05]
- [^x] Dolby SR-D Digital
http://www.hps4000.com/pages/digital/dolby_sr_d_digital.pdf [2004-12-05]
- [^{xi}] SADiE
www.sadie.com [2004-12-05]
- [^{xii}] Digital ljudlagring på CD och DVD. En teknisk skrift från Utvecklingsenheten vid Sveriges Radio. Stockholm 2004
- [^{xiii}] IASA (International Association of Sound and Audiovisual Archives)
<http://www.iasa-web.org> [2004-12-05]
- [^{xiv}] PRESTO (Preservation Technology for European Archives)
<http://presto.joanneum.ac.at/index.asp> [2004-12-05]
- xv University of Aizu Multimedia Center.
<http://www-old.u-aizu.ac.jp/~mcohen/spatial-media/PSFC/welcome.html> [2003-12-09]
- xvi *LISTEN*. Fraunhofer-Gesellschaft. Mediekommunikationsinstitutet.
<http://listen.imk.fhg.de/start/index2.html> [2003-12-09]
- xvii Rhodes, John, *Videoconferencing for the real world*, Focalpress [2001].
- xviii *Odeon*. Danmarks Tekniske Universitet, Akustisk Teknologi.
<http://www.dat.dtu.dk/~odeon/index.html> [2003-12-09]
- xix Catt.
<http://www.catt.se> [2003-12-09]
- xx SVT Hjärnkontoret, del 9/10, [2003-12-02].
- xxi S. Ekmečić, M. Lindahl, Utveckling och implementering av omkringliggande ljud i Virtual Reality. Lunds Universitet [2002]
- xxii University of California, Davis
http://interface.cipic.ucdavis.edu/CIL_tutorial/3D_HRTF/3D_HRTF.htm
[2003-12-09]
- xxiii Svanå Miljö Teknik AB

<http://hem.passagen.se/akustik/fakta.htm> [2003-12-09]

xxiv

Helmer Almqvist Audio

<http://www.hmaudio.se/akustik/akust39.htm> [2003-12-09]

xxv

Cindy Tonnesen and Joe Steinmetz - 3D Sound Synthesis [1993]

<http://www.hitl.washington.edu/scivw/EVE/I.B.1.3DSoundSynthesis.html> [2003-12-09]

xxvi

Digit Life artikel om ljud i 3d: [2003]

<http://www.digit-life.com/articles2/sound-technology/index.html> [2003-12-09]

xxvii

3D SoundSurge

<http://www.3dsoundsurge.com/> [2003-12-09]