



FOTO, DÅR EJ ANNAT ANGES: CARL JONSSON

# Malmö Live – Good Vibrations!

Mellan Malmös gamla stadskärna och Västra Hamnen pågår sedan våren 2012 byggandet av ett helt nytt kvarter. Malmö Live är en social och kulturell mötesplats med 54 000 kvadratmeter byggyta som innefattar konserthus med två salar, en kongressanläggning och ett hotell med flera serveringar. Dessutom byggs kontor och bostäder som tillsammans med kultur, musik och restauranger kommer att skapa ett nytt landmärke mot kanalen intill Bagers Plats. Kvarteret invigs den 4 juni 2015.

Artikeln är en sammanfattning av hur projektet genomförts ur en byggares synvinkel och med tonvikt på akustik och vibrationer. Den akustiska utformningen har på ett mycket förtjänstfullt sätt upprättats av Akustikon med *Jan-Inge Gustafsson* som ansvarig. Byggherrens akustiker för konserthuset är *Anders Gade*, som också utformat programkraven för Malmö Symfoniorkesters nya hemvist.

Min roll i projektet har bestått i att leda framdrift av projektering för stomme,

akustik och scenteknik. Det innebär att man ansvarar för förutsättningarna att realisera en teoretisk produkt till monteringsbara byggdelar med förväntade egenskaper, i rätt tid och till rätt kostnad.

## Klang i salar

Den största utmaningen var redan från projektstart konsertsalen, där krav och förväntningar formulerats för att uppnå "akustisk klang i världsklass". I salen handlar det om att skapa en behaglig efterklang med rätt balans av värme och briljans. En orkester måste få hjälp av salen så att den upplevs få bredd och skapar samklang. Både musiker och publik ska

känna att de är omgivna av musiken – det får inte låta mono. Det måste också finnas en tydlighet i musiken. Detta är en svår egenskap och det ska vara lagom tydligt så att man upplever detaljer. Men inte så att det tippas över och blir vasst, eller så att en stämgrupp inte låter som en homogen grupp. Ljudstyrkan från olika delar av en orkester måste vara i balans, så att inte några instrument oavsiktligt sticker ut eller dämpas. Utöver detta ska det låta någorlunda lika på alla sittplatser i salen oavsett hur mycket eller lite publik det finns. Detta är en fysisk omöjlighet, men det kan göras mer eller mindre bra. En avgörande egenskap som Jan-Inge Gustafs-



*Malmö Symfoniorkester i sin nuvarande konsertsal. Orkestern har funnits sedan 1925 och innefattar idag 97 musiker.*



Artikelförfattare är **Carl Jonsson**, Skanska Sverige, Teknik, Malmö.





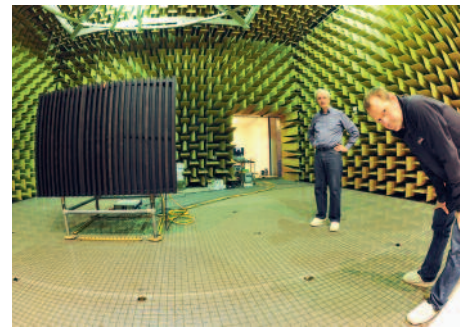
*Några av de akustiska kraven består i; variabel efterklang  $T$  1,5 till 2,1 s i medelfrekvenser. Vid odämpad sal ska  $T$  i basområdet då samtidigt vara 2,4 s. Klangfullhet EDT ska vara cirka  $T - 0,2$  s, dock minst 1,8 s. Klarhet C80 cirka 1 dB. Ljudnivå  $G$  minst 3 dB. Rumslighet LEF minst 0,2. Homogenitet  $ST_{EARLEY} - 14$  dB.*

son arbetat mycket med är att skapa en fyllighet i klangen och en singing tone, vilket gör att en del kärva instrument som stråkar får hjälp av akustiken och sjunger. Direktljud har den högsta tydligheten, men risken med för hög tydlighet är att klangen kan upplevas tunn och kärv.

Jag ska strax beskriva de akustiska element som Jan-Inge Gustafsson använt för att skapa salens klang. Men utgångsläget och kanske den viktigaste egenskapen kommer från salens form med distinkt avgränsande betongelement som skapar en skolåda med rätt förhållande mellan bredd, höjd, djup och en förhöjning över scenen. Detta skapar de akustiska grundförutsättningarna – allt vidare arbete utgår därifrån. Vi fick med hjälp från *Dragan Buvac* en unik möjlighet att utvärdera Jan-Ingens initiala idéer om konsertsalens grundutformning. Vi kunde under två da-



*Ljudmätningar med mondrianska element på DTU. Här monteras lådor i efterklangsrums.*



*Här testas balkongräcke med ribbverk i ekofritt rum.*

gar utföra tredimensionell laserskanning och ljudmätningar i Grosser Musikverein. Laserskanningen användes för att bygga upp en modell i Odeon, och simuleringar kunde på så vis jämföras med mätningar. Motsvarande modell med vår sal gav ett mått av kvalitetssäkring och bidrog till att salens mått och form kunde fastläggas.

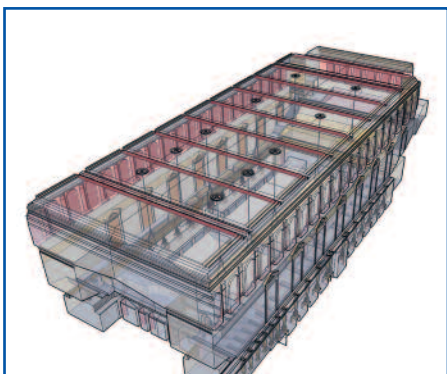
De viktigaste "instrumenten" vi har haft att arbeta med för att utforma salen är framför allt salens volym och form som en skolåda, men även sidobalkonger, gradänguppbyggnader och inte minst de 15

m långa reflektorer som hänger över scenen. Utöver det är de så kallade mondrianska elementen på väggar och i tak en avgörande komponent. De mondrianska elementen är stora trälådor som vi genom att använda rätt material, storlek, djup och lutning skapar ett önskvärt reflektionsmönster. Formspråket för konsertsalens väggar och tak är resultatet av en växelverkan mellan arkitektur och konsertsalsakustik. *Kristian Lars Ahlmark* och *Mads Kaltoft* vid Schmidt-Hammer-Lassen arkitekter lyckades använda de mycket strikta önskemålen om salens re-



*Redan under sommaren 2011 utfördes en tredimensionell laserskanning och ljudmätningar i Grosser Musikverein i Wien för att kalibrera våra modeller mot en erkänt bra och rumsligt jämförbar sal*

BILD: AKUSTIKON



*Odeon-modell av Musikverein.*

BILD: AKUSTIKON



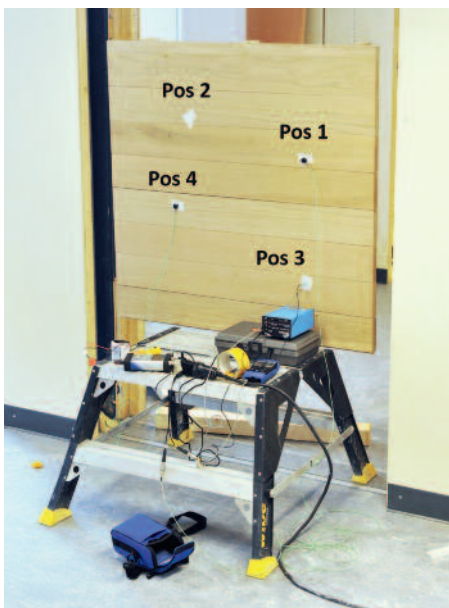
*Här ser vi absorptionsmätning av stolar med publik, där merparten är studenter från sista årskursen på DTU Acoustic Technology, under ledning av professor Jonas Brunskog och professor Cheol-Ho Jeong. Mätningen utfördes av Anders Gade.*



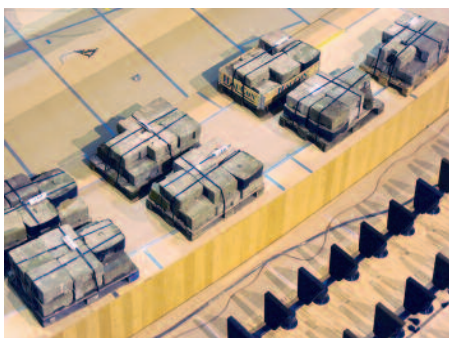


*Provspejning av olika golvuppbyggnader ihop med MSO. Cello är den violin som spelar djupast och som kanske mest använder golvet som en del av sin klang. Det var alltså lämpligt att be en cellist från MSO vara med i utvärderingen.*

flektionsmönster för att skapa spännande former i olika skalor. De har de facto vidareutvecklat den holländske neoplastisten Piet Mondrians formspråk från två till tre dimensioner.



*Impedansmätning på olika typer av scengolv.*



*All scenteknik säkerhets- och funktions-testas (AFS, EN). Här ser vi lastprovning av förscenspodie med nio ton.*

Vi tillverkade en avsevärd mängd prov med den syralackade ekens struktur, mönster, nyans, glans och detaljutformning i fogar, kanter, möten, belysning med mera har ägnats mycket omsorg.

Elementens akustiska funktioner utvecklades parallellt av Jan-Inge Gustafsson där ramarnas och fronternas styvhet och ytvtikt, djup, lutning och absorptionsgrad förfinades efterhand, i stor utsträckning baserat på ekogram. Lådornas front styvas upp med invändiga spant som har placerats med ojämn delning för att smeta ut resonanser bredbandigt.

Arbetet med mondrianska element medförde oräkneliga digitala och fysiska modeller, fullskaleprov i fabrik och på plats. De viktigaste mätningarna under utvecklingsskedet utfördes på DTH i Lyngby, där lådor, ribbverk och olika ullgardiner monterades i ett av efterklangsrummen och i det stora ekofria rummet (1 000 kubikmeter). Mondrianska element har tillverkats och monterats av Gustafs i Dalarna.

Utöver salens grundform och -material samt mondrianska element med lådor och ribbor så påverkas salens reflektionsmönster och klang i huvudsak av reflektorer, stolar, golv och scengolv.

Stolarna är ritade av Schmidt-Hammer-Lassen, och de akustiska egenskaperna modifierades efter flera fullskaleprov med 20 stycken stolar i efterklangsrummet, där vi gjorde före/efter-mätningar med förberedda utbytesdelar av rygg och armstöd.

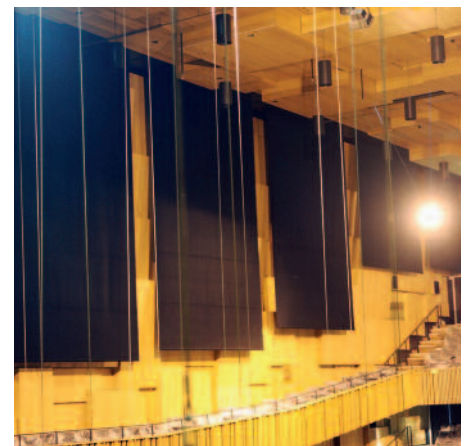
Golvet på parkett och balkonger är en 10 mm industriparkett ek direktlimmad mot 2 x 21 mm plywood. Scengolvet är en 30 mm massiv spontad ekplank, som skruvats i träreglar 70 x 140 c/c 450. För en del instrument hjälper golvet till att stödja instrumentets klang och vi har ut-

fört testspelningar med olika golvuppbyggnader för att skapa ett bra gensvar i underlaget. Scenen består av 20 stycken höj- och sänkbara scenpodier, en fast del och en höj- och sänkbar förscen. Scenens utformning ihop med mondrianska sidoväggar, reflektorer och intäckningar ger därför stor flexibilitet för att skapa önskvärd scenakustik med aktuella orkestrar.

Den stora konsertsalen kommer i hög grad användas med förstärkt musik och salen utrustas med ett Front-of-House högtalarsystem med två stora bananer, mittkluster, basarray, fill, pewback och delay. Utöver detta blir det ett surroundsystem som i huvudsak är inbyggt i de mondrianska elementen. Ett tio kvadratmeter mixerbordspodie kan köras ner i källaren med Serapid för byte av mixerbord eller för att köra på stolar om det inte ska användas.

Både under- och övermaskineri styrs från en mobil pulpet som även ger signal till ett show control system för hela salen.

Salens akustik måste kunna regleras för olika typer av förstärkt och oförstärkt musik, och utöver de reglerbara reflektorerna över scenen har vi installerat ullgardiner som med spolmotorer kan ställas i önskvärd nivå. Gardinerna består av Bonded Wool Serge med ytvtikt 800 g/m<sup>2</sup> och kan spolas ner cirka sju meter från slitsar längs alla väggar i salens takvinkel. Textilen ligger på cirka 750 mm avstånd från betongvägg, och absorptionen blir relativt



*Spolgardiner är monterade i trälådor på tågviden, och textilen löper ner i slitsar framför de mondrianska elementen.*



*Mondrianska element som runt scenen har mindre dimension. Ute i salongen och högre upp ökar storleken till 3 x 3 m.*





*Den flexibla salen (t v) blir en blackbox med variabel efterklang. Men lådorna är öppna och en andel av ytan bakom är absorberande. Den stora salen (t h) för kongress är delad i bakre delen som en entresol där 500 m<sup>2</sup> kan gränsas av med blockväggar.*

bredbandig eftersom de mondrianska elementen har varierande djup och lutning från 0 till 700 mm. Efterklangen sänks 0,5 s vid maximal dämpning. Elektroakustik har utformats av *Alf Bertsson* (Artifon).

**Flexibla Salen.** Den Flexibla Salen blir som namnet antyder en multifunktionssal, och kommer användas till allt från orkesterns övningsrum till förstärkta konserter med rock, jazz, blues och kör, dans, standup, utställningar med mera. Salen har plats för 350 sittande eller 500 stående. Salen har 1,0 till 1,5 s variabel efterklang. Vid maxklang är C80 2 till 6 dB och G 4 till 10 dB.

**Kongress.** Utrymmen för kongressaktiviteter finns i fem våningar i byggnaden mellan hotell och konsert. En stor sal i plan 2 blir för 1500 sittande men endast 500 fasta sittplatser på gradäng för att skapa maximal flexibilitet. Salen kan delas av med blockväggar så akustiskt har den flera olika grundformer. Salen optimeras för taluppfattbarhet och förstärkta framföranden, och kommer garanterat även användas för rock och pop. Sidoväggarna har en grundabsorption och är beklädda med Gustafs Linear System i högglans. Salen har 1,1 s efterklang i medelfrekvenser och 1,5 s i basen, vilket ger en relativt dämpad klang som gynnar taluppfattbarhet och högtalarförstärkt ljud. Eko-

gram visar på hög diffusitet i det tidiga intervallet. Det kan uppstå en del sena reflexer men de har tillräckligt låg nivå för att inte vara störande.

### Buller och vibrationer

Vad gäller akustik så blir det självklart mest fokus på utformningen i salarna i ett projekt som Malmö Live. Men även andra frågeställningar som uppkommer relaterade till akustik kan bli omfattande för ett projekt som har så skilda verksamheter integrerade till en gemensam mötesplats som är tänkt för aktiviteter dygnet runt.



*Bullermätning mellan hotellrum. Detta blir Malmös största hotell med 444 gästrum, och vi bygger för ljudklass B.*

Här är en mycket kortfattad beskrivning av de frågor som har hanterats i projektet;

**Bullerdämpning.** Det förekommer medelhöga till höga krav på bullerdämpning mellan hotellrum, mötesrum, bostäder, kontor, toaletter och liknande. Bullerdämpning mellan övnings-, ensemble-, slagverksrum, loger och liknande är mycket höga. Fasaden har i grunden en god isolering för hela projektet, och har för känsliga utrymmen byggts på invändigt för isolering mot trafikbuller och flanktransmission.

Buller mellan gym, gemensamhetsytor och salar har också varit heta frågor, speciellt då det kan vara svårt att bestämma vilka ljudnivåer det kan röra sig om.

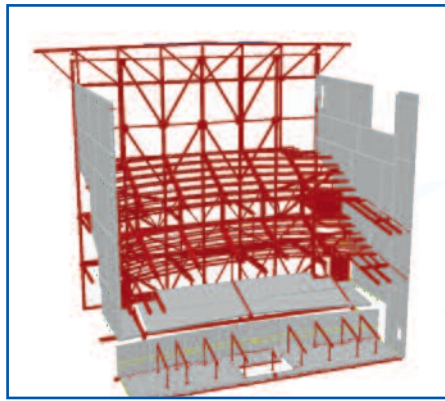
### Klang för olika instrumentgrupper i övningsrum, ensemblerum och loger.

Fyra förtillverkade element har utvecklats i samarbete med Jan-Inge Gustafsson, Schmidt-Hammer-Lassen och Svanå Miljöteknik. Samtliga element är 600 x 600 mm och utformningen bestämdes baserat på simuleringar med en mix av 100 mm djup spaltpanel, 0 till 100 mm lutande reflektorytor, 20 mm Ecophon Sonar och 95 mm Wing diffusor. Vi färdigställde ett övningsrum och ett ensemblerum och bjöd in 20 musiker som fick utvärdera rummen, och kompletterade med mätningar. Vi monterade även gardin Trevira CS 300g/m<sup>2</sup> som kunde placeras valfritt i





Lukasz Jamer som är stämledare för kontrabasprospelar i ett av ensemble-rummen som har limmad massiv ekparkett på betongplatta som avisolerats med Sylomer. Undertaket är Danoline Strato G 8/15/20 som här för första gången utförs i bärverk. Hälften av rummen har 600 mm fris.



Svängningar i bakre läktare i konsertsalen simulerades med utgångspunkt från komfort för publiken (se exempelvis ISO 10137:2008), och vi exciterade en modell med harmonisk last och frekvenssväp.



I april 2014 gjorde vi jämförande mätningar där vi engagerade fyra stycken lag à tio personer för att hoppa på läktaren. Mätserien innebar tio stycken sekvenser, där varje sekvens innefattade hopp på stället på nio olika platser och därefter stampande gång i längsled.

da och de sitter på olika platser. Ekvationen är inte lätt!

**Ljudmiljö i gemensamhetsytor, restaurang, lobby.** Det är ofta oklart inledningsvis vilken typ av verksamhet det blir i denna typ av ytor. Krav på robusthet, städbarhet och estetik kan bli motsträvigt en god ljudmiljö. Det kan vara svårt att undvika skrammel från stora persongrupper som samlas i pauser, men kanske ännu svårare när man planerar flera verksamheter som pågår samtidigt som riskerar stora varandra. Enklaste receptet är att projektera för kort efterklang och hög diffusion. Malmö Live har så stor sammanhängande och öppen volym så miljön kommer troligtvis uppfattas som bra.

**Komfortkrav.** I salarna som har stora spännvidder med balkonger och gradängar måste stålkonstruktionerna dimensioneras så att vibrationerna inte skapar obehag för en hoppande publik vare sig det är heavy metal eller dansband. Detsamma gäller vissa av de gemensamma ytorna i foajé. Vi vet också att artister som har framförande på scenpodierna kan vara mycket känsliga för strukturvibrationer



Anette Helters och Christian Davidsson spelar Corelli.

rummet, totalt max halva väggytan kan täckas. Musikerna fick beskriva hur de upplevde rumsklang, ljudnivå, support, färgning och bakgrundsbuller och efter utvärderingen modifierades hälften av spaltpanelen och absorberarna ökades till 40 mm och textil byttes till en mjukare och något lättare.

**Buller från installationer och scenteknik.** Det är ganska höga krav på begränsning av buller från installationer och scenteknik. I konsertsalen max 17 dBA / 22 dBC och NR10 vid inspelning utan publik och NR15 med publik. Tilluft i salongen sker genom tryckkammare under stolar, och varje stol har en perforerad pelfot med en insats som avpassar flödet till max 11 l/s. Det krävs stora mängder kyld friskluft för att få god komfort för 1 700 personer, vilket i och för sig inte är några problem. Men det får ju inte alstra ljud och inte upplevas som dragigt. Mäniskor är dessutom olika, de är olika kläd-



Här ser vi de diffuserande ytor som omgärdar samtliga salar. Det är våningshöga betongelement med cirka 6 m längd som gjutits mot en brädformad yta med varierande tjocklek. I vertikalfogar sitter mässingsarmatur med lysdiodbelysning. Betongelementen fortsätter upp genom taket och ger ovana besökare en förbättrad orientering.



Vindtunnelförsök med en skalmmodell av projektet för att bestämma rättvisande vindpåverkan på vår aktuella struktur. Försöken innefattar bestämning av vindtryck, formfaktorer, dynamiska effekter, vibrationsbeteenden och komfortbedömning.





*Inre stomme till konsertsalen under pågående montage.*

och den bärande stommen måste dimensioneras så att egenfrekvenser överstiger 8 Hz. Ett tiotal byggdelar i projektet skulle potentiellt kunna upplevas svajiga om de enbart utformas med tanke på bärlighet och deformationer. Vi har av praktiska skäl tillämpat ett grundkrav på egen-svängning i dessa ytor, med nyanserings-möjlighet om man ser en vits i att studera accelerationer och dynamiska effekter mer ingående.

Hotellstrukturen är 85 m hög med lägsta egenfrekvens 0,35 Hz, och svängningsmoden är roterande, vilket ger högst acceleration högst upp i högsta tornets nordöstra hörn. Geometrin i förhållande till styvhet är ganska komplex, och vi utförde vindtunneltest för att få korrekta antaganden.

**Citytunnel och inre/ytte stomme.** När tågen dundrar förbi i Citytunneln som ligger bara 14 m från konserthuset är det vibrationer som vi måste isolera bort så att de inte riskerar komma med på en in-



GF-board (25), Inre stomme (493), Stål (16 712), Sylomer SR220 (7), Sylomer SR450 (17), UW Elast Slitan 80A-21 (192) och Yttre stomme (1 632)

*De olika typer av avisolering vi har använt för att anpassa dämpning för aktuell belastning.*

spelning i salen. Detta har vi löst genom att utforma salen med en inre och en yttre stomme, där den inre stommen vilar som

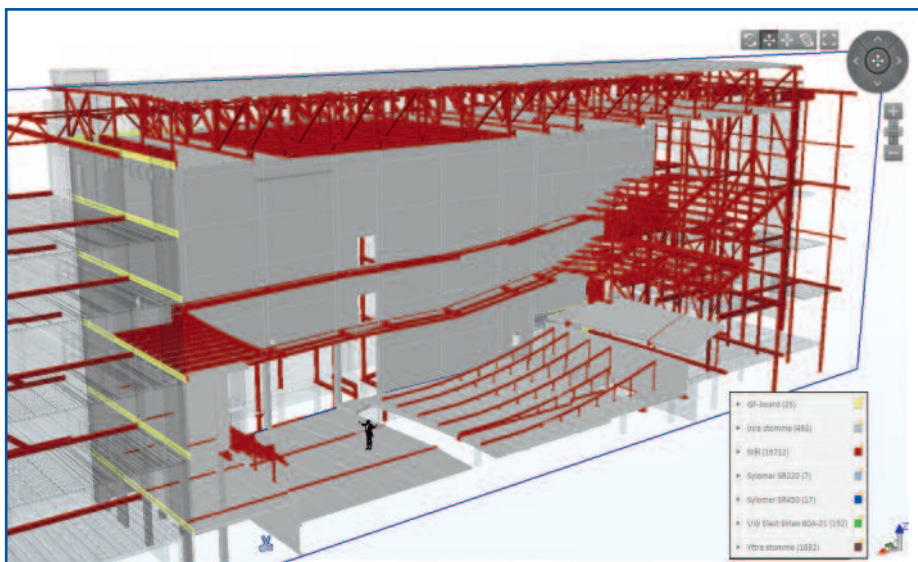
ett fartyg på avisolerade pelare och väggar i garagetaket. Skanska Stomsystem har utfört installationen med avpassade typer av Sylomer och Uretan. Avisoleringen är placerad precis under salens golv, vilket innebär att buller från garage också ligger utanför, och i våningsplanen är stommen avskild med en 20 mm genomgående fog.

### Några goda råd

Det mesta av byggprocessen är klarlagt i generella rutiner som seriösa projektörer och entreprenörer tillämpar. Men roten till många brister kommer trots det från projekterings- och planeringsskedet. Inte alls konstigt med tanke på vilka komplexa produkter som ska tillverkas och med så många intressegrupper som ska sammanvägas. Här följer ett urval av de råd jag vill lyfta fram för att skapa ett bra projekt av det här slaget:

- Definiera hur salar och lokaler ska kunna användas om detta inte är tydligt beskrivet i programmet.
- Gå igenom systemhandlingar A, K och I, och markera hur dessa behöver kom-

<b>Projektutvecklare:</b>	Skanska	<i>Staffan Andersson</i>
<b>Byggherre:</b>	Stadsfastigheter Hyresgäst Konserthuset/MSO	<i>Jenny Groothuis Jesper Larsson Mikael Derving</i>
<b>Byggherre:</b>	Smebab Silver/AFA Hyresgäst Clarion	<i>Ingbert Larsson Jens Lyckman</i>
<b>Arkitekt:</b>	Schmidt Hammer Lassen, SHL	<i>Kristian Lars Almark Mads Kaltoft</i>
<b>Arkitekt:</b>	Tengbom	<i>Magnus Nilsson Bo Karlberg</i>
<b>Akustiker:</b>	Akustikon	<i>Jan-Inge Gustafsson</i>
<b>Byggherrens akustiker:</b>	Gade & Mortensen	<i>Anders Gade</i>
<b>Elektroakustik:</b>	Artifon	<i>Alf Berntsson</i>
<b>Konstruktioner:</b>	Skanska Teknik Prekon Sweco Ramböll Byggkonstruktörerna WSP Structor Skanska Hus Skanska Stomsystem	
<b>Installationer:</b>	Bengt Dahlgren WSP Develcon Skanska Installation Holmströms Rör Sydspinkler Schneider Electric	
<b>Fasad:</b>	Skanska A.S. Czech	
<b>Scenteknik:</b>	Novoscen Skanska Teknik TTS Hofmann IIMonte	
<b>Vägg- och takbeklädnader:</b>	Gustafs	



*Konsertsal (inre stomme) med yttre stomme (transparent).  
Skärmdump av ifc-modell från Revit Structure.*

pletteras, analyseras, provas under bygghandlingsskedet.

- Analysera hur programkrav uppfylls i bygghandlingar.
- Definiera tolkningar, nyanseringar eller överenskomna avsteg från programkrav.
- Låt akustikern upprätta ljudkravsritningar som beskriver bullerkrav grafiskt vertikalt, horisontellt, dörrar, fönster, installationsbuller.
- Upprätta undergolvsritningar och väggtyper så tidigt som möjligt. Begränsa anta-

let typer, och när antalet typer är begränsade så begränsa dem en gång till. Markera ljudfogars lägen exakt. Observera toleranser. Observera installationer.

- Se till att undertaksritningar inkluderar all ljudisolering i undertaket, inte bara ytskikt och bärverk.
- Rita typdetaljer som beskriver anslutningar för golv, väggar, fönster, dörrar, trösklar och fogar.
- Ha genomgång av arbetsutförande med ledande montörer avseende stomme,

golv, undertak, fasader, aggregat, ventilation, sprinkler och el.

- Upprätta instruktioner för BIM baserat på hur och när det ska användas. Hela Malmö Live är ritat i 3D. Kalkyl var i viss mån kopplad för design-to-cost i tidigt skede. Montageordning är kopplad för konsertsalen med delaktiviteter uppdelade från och med stommen var klar till och med driftsättning. Hela stommen är kopplad till kalkyl, planering, tillverkning och montage.

- Upprätta arbetsberedningar med egenkontrollpunkter gällande akustik.

- Engagera orkestern, visa och ställ frågor i projekteringsskedet samt återkoppla under produktionsskedet.

- Gör mockups på kritiska byggdelar, alltså byggdelar vars materialegenskaper har stor inverkan på slutresultatet. Det är optimalt att engagera orkesterrepresentanter till mockups. Man får en helt annan känsla om man kan "spela med materialet".

- Inspektera och mät så tidigt som möjligt. Många avvikelser eller överraskningar är enkla att åtgärda i samband med att de monteras. Jag tror också att man höjer moral och uppmärksamhet i arbetslagen när man visar intresse under pågående montage. Mycket bättre än att påpeka fel i efterhand.

Sist och viktigast av allt – Inga dåliga vibbar! ■