



PORTFOLIO – IN MOTION

KANDIDATARBETE VT20 – ACEX15

Hanna Tynelius

Grupparbete med Sigrid Ulander

Handledare: Morten Lund, Peter Christensson, Wolfgang Kropp

Omfattning: 15 hp

KURSEN

Fokus i denna kurs har legat på att integrera andra disciplin in i arkitekturen och då med fokus på främst akustik. Detta är något vi under kursens gång har jobbat oss fram mot då vi började med att undersöka fenomen i naturen, rumsliga sammanhang och hur en byggnad samspelar med sin omgivande miljö. Detta gav ett helhetsintryck från start och allt eftersom har detta kombinerats med akustik på olika sätt.

Själva projektet har inneburit att tillsammans med en annan student från *Arkitektur och Teknik* samt en student från mastersprogrammet *Sound and Vibration* rita ett operahus. Hallens akustik ska vara justerbar då den även kommer att användas till kör, dans, kammarmusik och symfoniorkester.



IN MOTION

A JOURNEY TOWARDS MUSIC

THE INVITING COLLEGE OPERA HALL

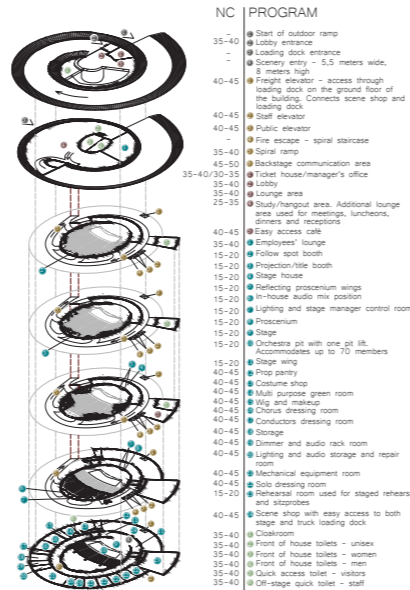
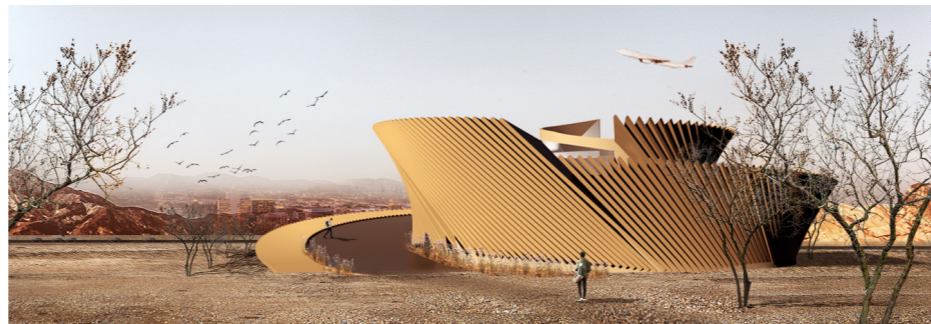
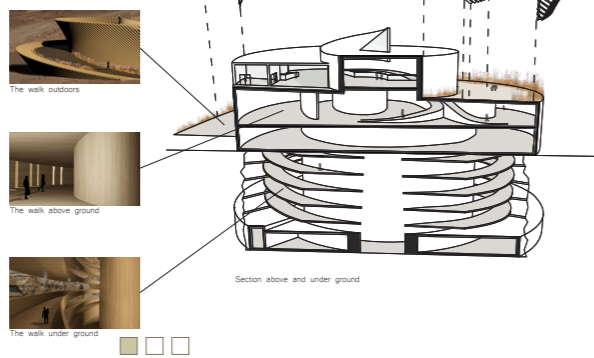
A swirling movement welcomes you into this haven of music. Follow the continuous path towards the heart of the building and feel the rest of the campus fade away as you decline. Located in the western North America this structure seemingly rises from the ground. Making use of the solid bedrock of the Rocky Mountains this subterranean hall is embraced by exposed cliff walls. The movement follows through in the adjustable ceiling of the hall making the acoustics part of the swirling motion.

THE JOURNEY IS PART OF THE EXPERIENCE

The experience begins the moment your foot touches the structure. The first part of the stroll is an ascending path along the swirling roof as shown in the picture to the right. As you reach the entrance you embark upon a lobby floor with a lounge area. The journey continues when you descend on the ramp downstairs, passing an area for perfect calm study sessions or luncheons. Further down the softly declining ramp you reach a subterranean space, where you move in a spiral around the hall until you reach your seating entrance. Between the hall and the ramp, you can spot the backstage communication area down below. The final step of the walking experience is being greeted by the warmth of the embracing hall. While the ramp offers a contemplative stroll there are also alternative means of transportation in the form of two public elevators.

ACOUSTICS ON THE SUBTERRANEAN RAMP

While walking along the ramp before entering the hall, the reverberation time is 3.0 seconds to achieve a cathedral effect which makes visitors prone to lowering their voices, creating an atmosphere of expectation. During intermissions, the reverberation time is to 1.3 seconds in order to create a favorable environment for conversation, as the ramp transforms into a lounge area around the easy access café. Therefore, adjustable absorbing panels are integrated in walls and underneath the ramp.



ORCHESTRA SHELL

Assemblable structure

In order to encapsulate sound and reflect to the audience when the orchestra is elevated to stage level, the hall is equipped with an assemblable orchestra shell with an irregular interior surface.

STEP 1

The base of the shell, consisting of two identical steel frames, is folded together and hidden in the stage floor when not in use.

STEP 2

By folding one of the two steel frame upwards, a frame with depth and height is built.

STEP 3

Segments of the shell are manually attached to the frame.

STEP 4

A complete shell is assembled.



NOISE CONTROL

SOUND INSULATION FROM SURROUNDING NOISE

Considering the highway and airport in adherence to the site, our concert hall needs protection from external noise. Therefore, the building envelope is designed in two parts, a thick concrete shell above ground and a subterranean space in which the concert hall stands. Low frequency noise from airplanes and traffic is taken care of with the massive concrete wall. The hall is free standing to a large extent in order to prevent vibration transmission from surrounding rooms. This way, the whole building blocks out noise from outside as well as from nearby indoor spaces.

CREATING A TRANQUIL SOUNDSCAPE ON CAMPUS

Integrated Schroeder diffusers

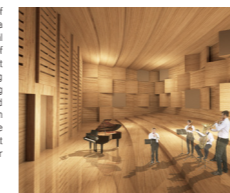
The panel structure on the facade is designed to contribute to a calm soundscape in the surrounding environment on campus, by integrating Schroeder diffusers between panels. The diffusers help lowering sound energy that meets the facade, whilst scattering noise, resulting in a diffuse sound field. Simultaneously, they prevent standing waves.

THE HALL

Once inside the opera hall you are embraced by a welcoming environment. The organic balconies flow from the walls and scatter sound with their undulating geometry and textured surfaces. The scene opens up into the room and the proscenium is dissolved into two wide screens reaching towards the ceiling. The stage tower has panel absorbers and a glass surface facing the audience. With its large parquet and three levels of segmented balconies, the hall seats 1200 people. The parquet is divided into smaller sections making the entry and exit smooth.

THE REHEARSAL ROOM

The rehearsal room has the important task of mimicking the acoustic qualities of the actual opera hall. Since there is no audience in the rehearsal room absorption has to be added in the form of panels. Some of them are adjustable, making it possible to alter the reverberation time according to the genre being performed. With one absorbing side and one reflecting these panels can be turned to either of the two sides. The floor of the room is divided into different segments with adjustable elevation in order to provide the means for adjustable group constellations. Diffusers are integrated in order to distribute incoming sound evenly.

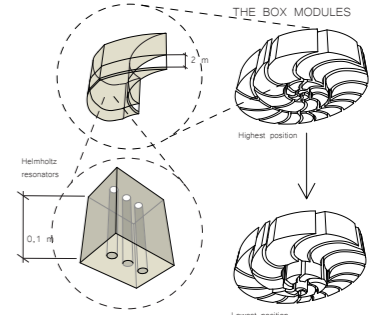
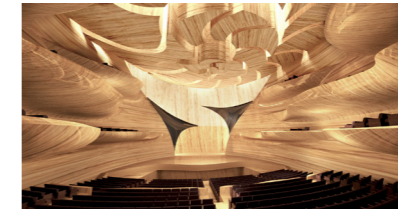


REVERBERATION TIME

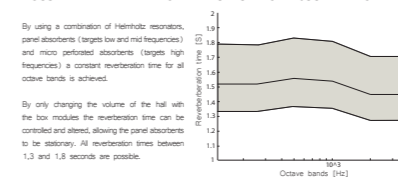
ADJUSTABLE ACOUSTICS

The ceiling consists of a system which creates a reverberation time adjustable to the desired, making it suitable for various genres of music, chamber music, choral, dance, symphony orchestra, and speaking engagements. By elevating the boxes a certain distance, the volume of the hall

increases, making the reverberation time longer. These can be set to any wanted height which gives the hall a wide spectrum of genre adaptation. The hollow boxes make up a natural void, containing mineral wool, which allows Helmholtz resonators to be integrated.



POSSIBLE REVERBERATION TIMES DUE TO ADJUSTABLE CEILING



ADAPTABLE VOLUME AND REVERBERATION TIME

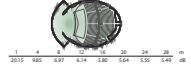
5 METERS
The boxes are at their lowest position. This results in a reverberation time of 1.3 seconds. Suitable for speaking engagements.

3 METERS
The boxes are at their mid position. This results in a reverberation time of 1.5 seconds. Suitable for opera.

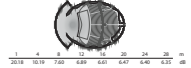
0 METERS
The boxes are at their highest position. This results in a reverberation time of 1.8 seconds. Suitable for symphony orchestra.

GAIN GRADIENT

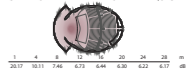
GAIN FOR REVERBERATION TIME 1.3 S



GAIN FOR REVERBERATION TIME 1.5 S



GAIN FOR REVERBERATION TIME 1.8 S



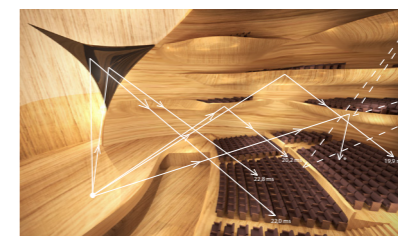
CLARITY

The vision is to create good clarity in the hall in order to obtain articulated singing and speaking which is important in opera performances. With this in mind the hall is designed with a seating constellation where all seats are in proximity of a reflecting wall; the parquet is divided into two levels and the balconies are segmented.

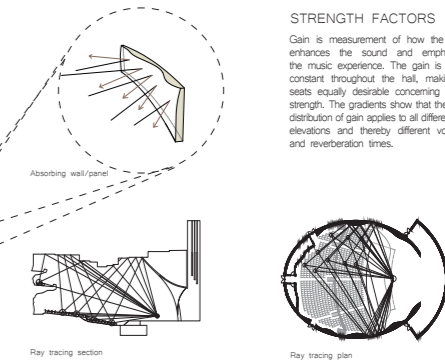
INITIAL TIME DELAY GAP (ITDG)

ITDG is a measurement of the time between direct sound and early reflections for a specific spot. The hall is designed to obtain an ITDG centered in the front parquet is critical of approximately 20 ms at every seat to a reflecting wall. Therefore the proscenium is designed with a seat marked with two reflecting screens targeting this ms which is significantly lower than wanted.

This is resolved by absorbing panels underneath the reflecting balcony. The seats centered in the front parquet are critical considering their long distance to a reflecting wall. Therefore the proscenium is designed with two reflecting screens targeting this problematic area, thus lowering the ITDG.



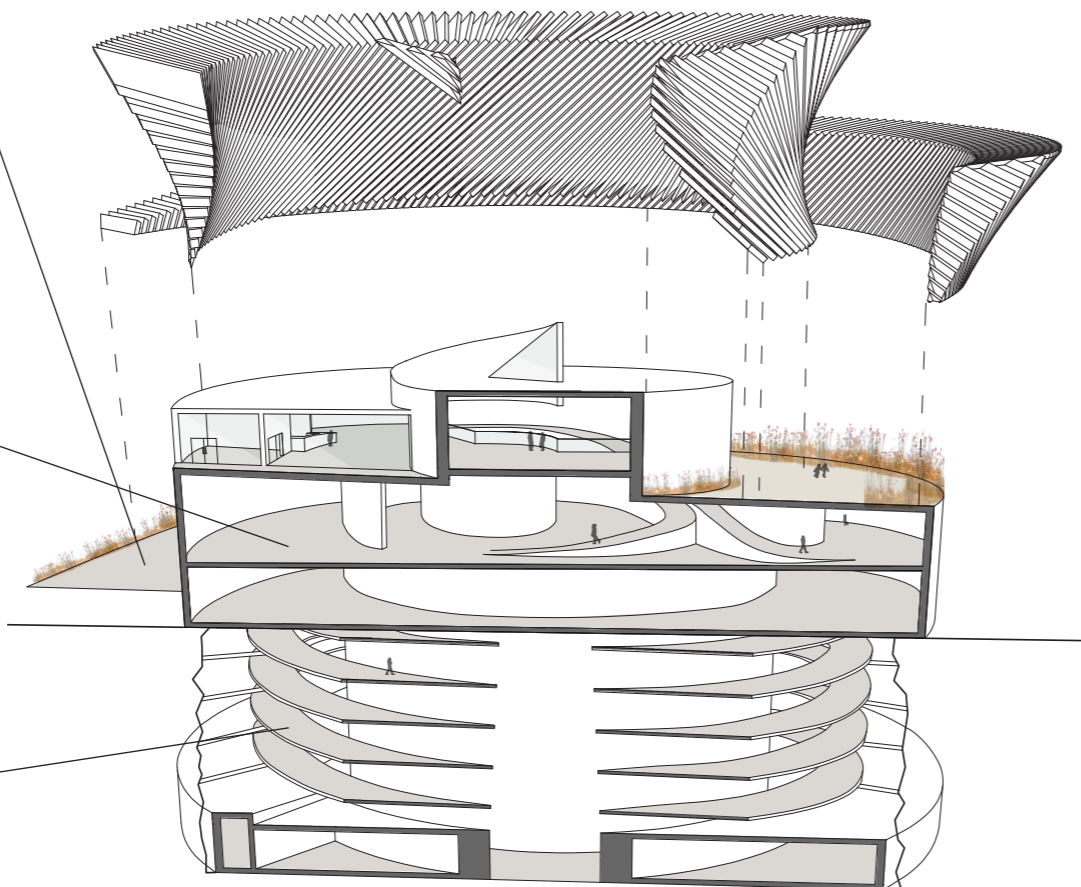
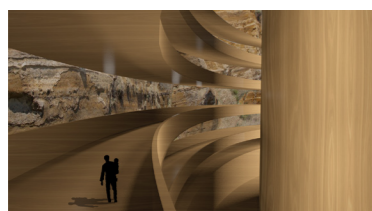
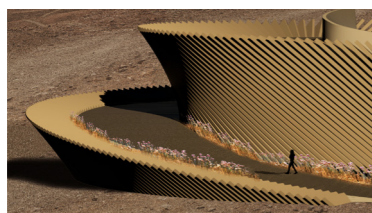
Ray tracing - critical seats



STRENGTH FACTORS

Gain is measurement of how the room enhances the sound and emphasizes the music experience. The gain is nearly constant throughout the hall, making all seats equally desirable concerning sound strength. The gradients show that the even distribution of gain applies to all different box elevations and thereby different volumes and reverberation times.





RÖRELSEN

Hjärtat i projektet ligger i den cirkulära rörelsen och hur vägen till själva operahallen är mer än bara transport. Upplevelsen börjar så fort din fot rör strukturen. Den första delen av promenaden är längs den stigande rampen som börjar där byggnaden reser sig ur marken. När du når entrén rör du dig in på en lobbyvåning som innehåller en lounge. Resan fortsätter när du börjar gå ner för rampen mot byggandens nedervåning och passerar ett område perfekt för lugna studiesessioner eller luncher. Längre ner på den behagligt lutande rampen når du ett underjordiskt utrymme, där du rör dig i en spiral runt hallen tills du når ingången som leder till din plats. Mellan hallen och rampen kan du se kommunikationsområdet bakom kulisserna nedanför. Det sista steget i vandringsupplevelsen är när du möts av värmen av den omfamnande hallen.

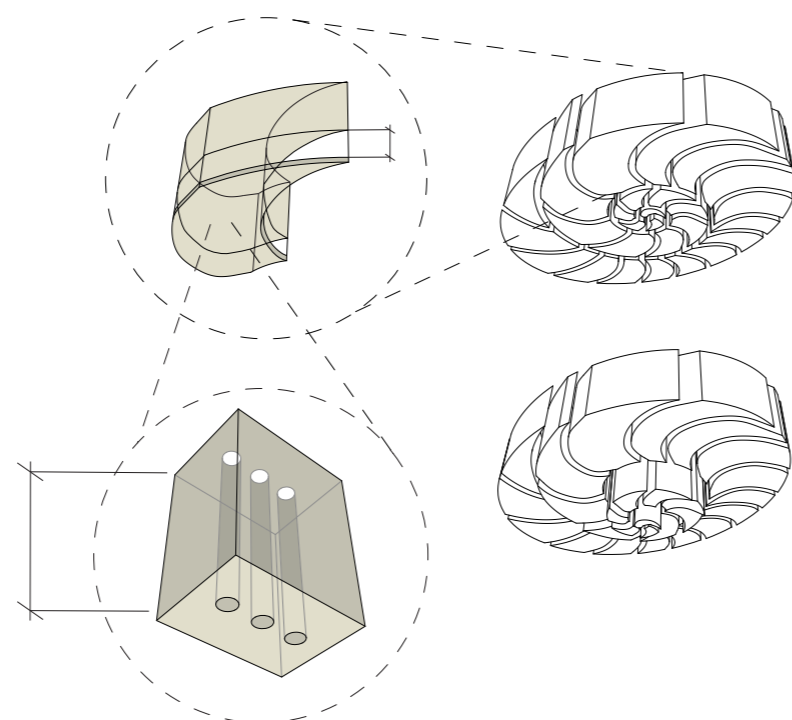
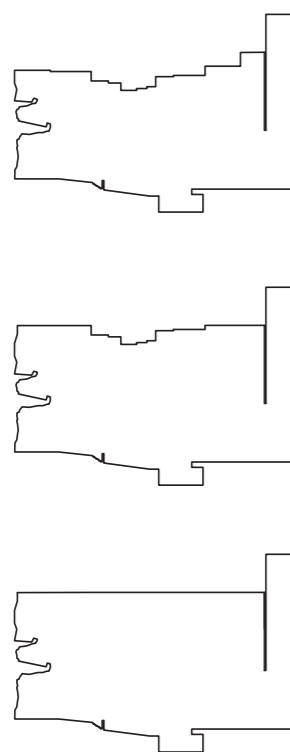
AKUSTIKEN PÅ DEN UNDERJORDISKA RAMPEN

När du rör dig ner längs rampen innan du går in i hallen är efterklangstiden 3,0 sekunder för att uppnå en katedraleffekt som gör besökare benägna att sänka sina röster, vilket skapar en atmosfär av förväntan. Under pauserna justeras efterklangstiden till 1,3 sekunder för att skapa en gynnsam miljö för konversation, eftersom rampen förvandlas till en lounge runt det lättillgängliga kaféet. Därför är justerbara absorberande paneler integrerade i väggar och under rampen.

JUSTERBAR AKUSTIK I HALLEN

En central del i projektet har varit att integrera akustiska principer i arkitekturen. En annan väsentlig del har varit att skapa ett system som gör akustiken i operahallen justerbar. Kombinationen av dessa två krav har vi hanterat genom att skapa en takkonstruktion som kan minska rumsvolymen och därmed efterklangstiden.

Systemet i taket skapar en efterklangstid som är justerbar till decimalen, vilket gör hallen lämplig för bland annat opera, kammarmusik, kör, dans, symfoniorkester och tal. Genom att höja modulerna ett visst avstånd ökar hallens volym, vilket gör efterklangstiden längre. Dessa kan ställas in på önskad höjd vilket ger hallen ett brett spektrum av genreanpassning. De ihåliga modulerna utgör ett naturligt tomrum, vilket gör att Helmholtzresonatorer kan integreras. Dessa är en viktig del i att kunna hålla efterklangstiden relativt konstant över okavbanden. Genom att endast ändra hallens volym med modulerna kan efterklangstiden kontrolleras och ändras, vilket innebär att panelabsorbenterna kan vara stationära. Alla efterklangstider mellan 1,3 och 1,8 sekunder är möjliga.

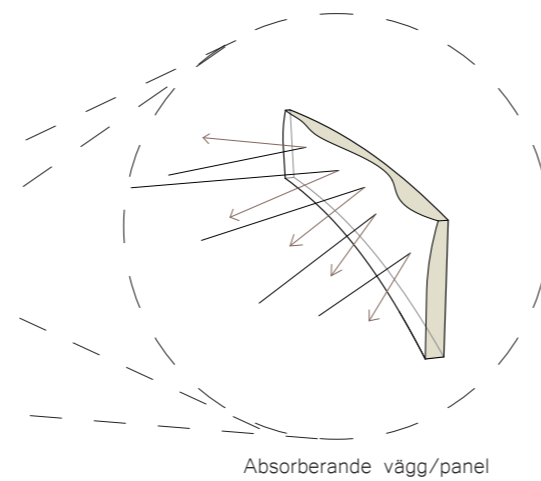
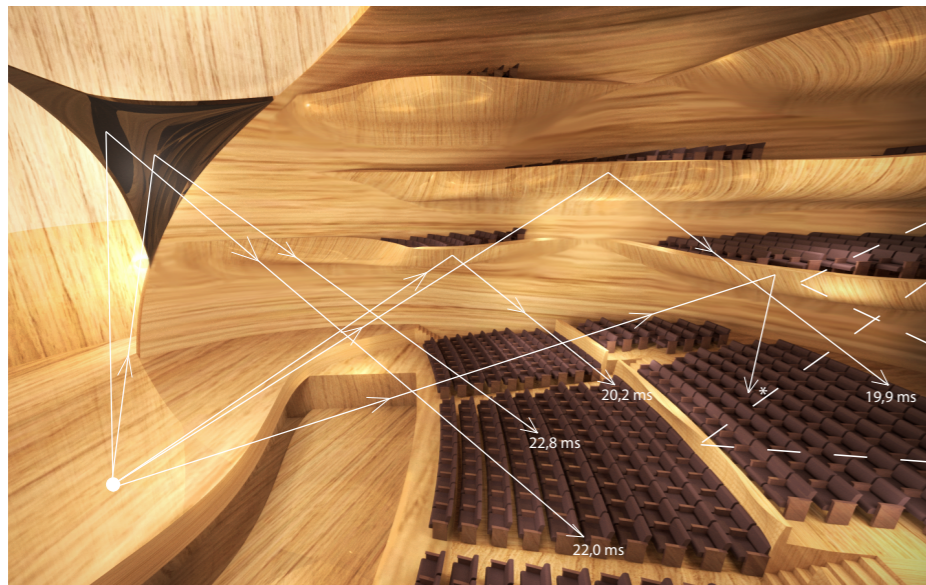


En modul för att kunna justera rumsvolymen, och därmed efterklangtiden, är integrerad i takkonstruktionen.



HALLENS UTFORMNING

Väl inne i operahallen omfamnas du av en välkomnande miljö. De organiska balkongerna flödar ut från väggarna och hjälper till att sprida ljud med sin böljande geometri och texturerade ytor. Scenen öppnar upp sig in i rummet och prosceniet löses upp i formen av två stora skärmar som sträcker sig upp mot taket. Scentornet har panelabsorbenter och en glasyta ut mot publiken. Med sin stora parkett och tre nivåer av segmenterade balkonger rymmer operahallen 1200 personer. Parketten är uppdelad i mindre sektioner vilket gör ingång och utgång smidig.

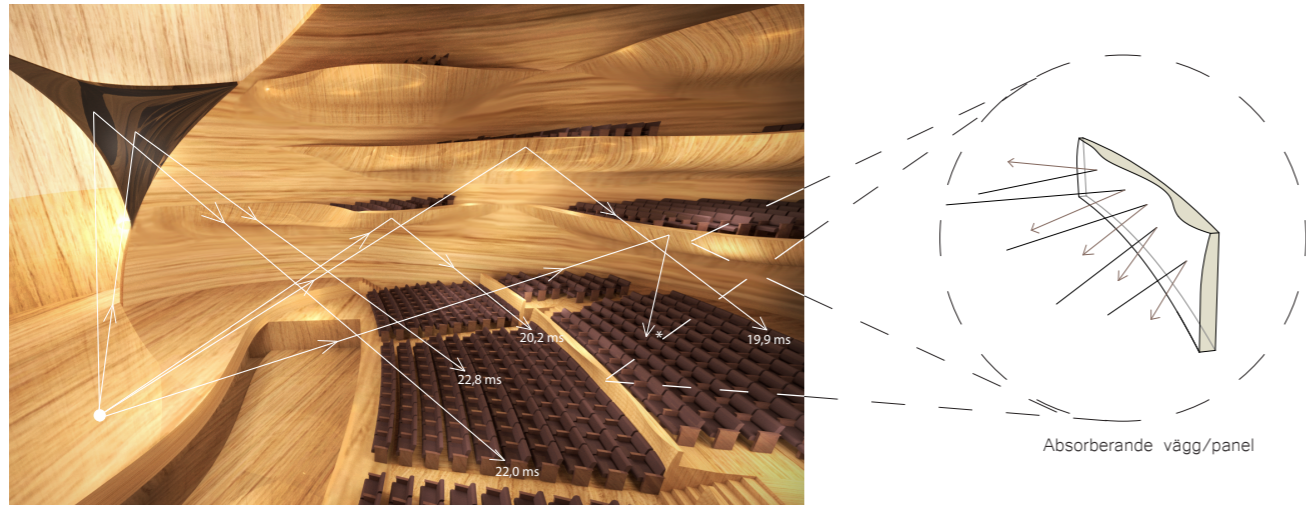


AKUSTIK I HALLEN

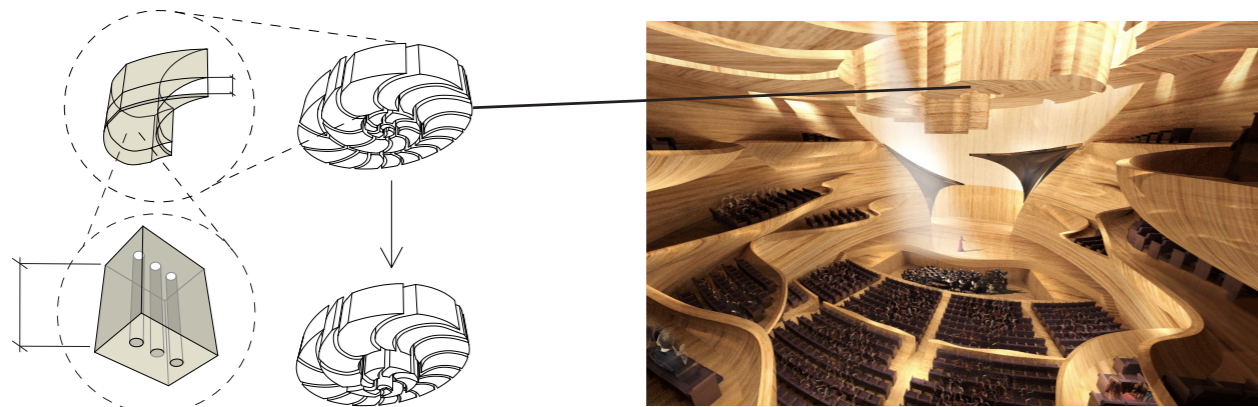
ITDG är ett mått på tiden mellan direkt ljud och tidiga reflektioner för en specifik plats. Hallen är utformad för att få en ITDG på cirka 20 ms vid varje plats för att skapa en musikalisk intimitet. I sätet märkt med * beräknades ITDG ut till att vara 8,5 ms vilket är betydligt lägre än önskat. Detta löses genom att panelabsorbenter placeras under den annars reflekterande balkongen ovan. Sätena centrerade på den främre parketten är kritiska med tanke på deras långa avstånd till en reflekterande vägg. Därför är prosceniet utformat med två reflekterande skärmar riktade mot detta problematiska område, vilket effektivt sänker ITDG.

Strength är ett mått på hur rummet förstärker ljudet och framhäver musikupplevelsen. Denna är nästan konstant i hela hallen, vilket gör alla platser lika önskvärda när det gäller ljudstyrka. Den jämna fördelningen av strength gäller alla olika rumsvolymer och därmed efterklangstider.

Visionen är att skapa god *clarity* i hallen för att uppnå artikulera sång vilket är viktigt i operaföreställningar. Med detta i åtanke är hallen utformad med en sittkonstellation där alla säten ligger i närheten av en reflekterande vägg; parketten är uppdelad i två nivåer och balkongerna är segmenterade.



Reflekerande panel vid proseniet samt balkongernas undersida i kombination med taktiskt utplacerade absorberande ytor bidrar till goda *initial time delay gaps* i samtliga säten.



Modul för att kunna justera efterklangtiden integrerad i takkonstruktionen.

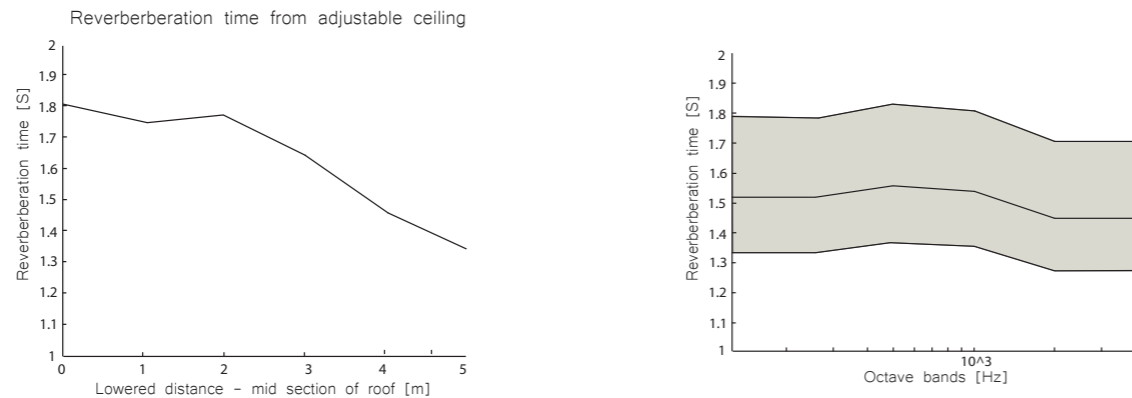
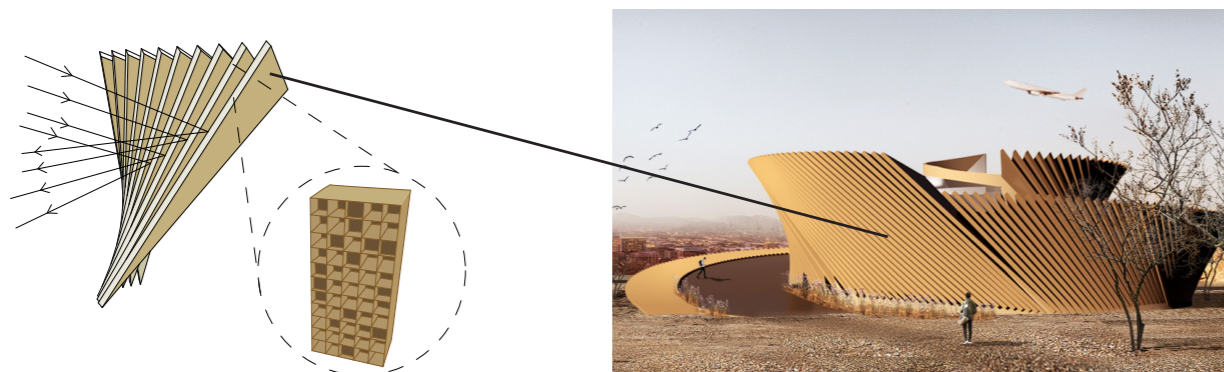


Diagram som visar möjliga efterklangstider i rummet.



Integrerade Schröderspridare (eng *Schroeder diffuser*) mellan fasadpanelerna

SAMARBETET MELLAN OLIKA DISCIPLIN

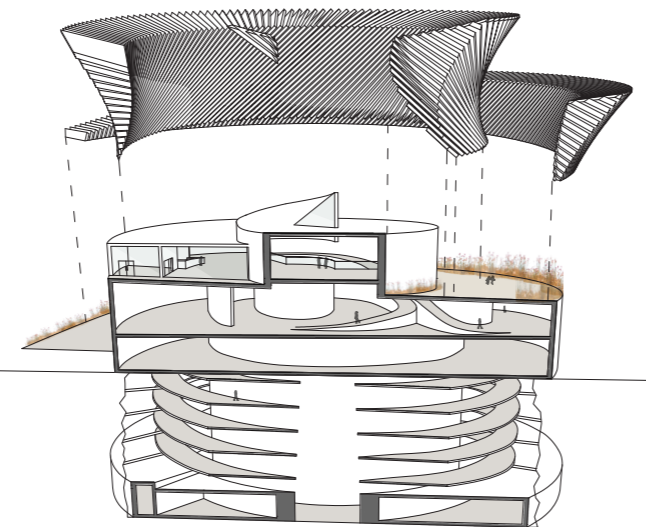
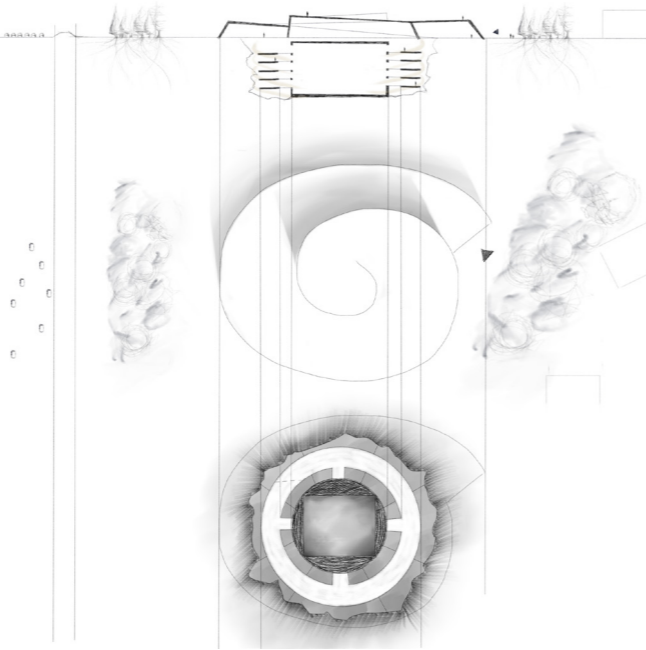
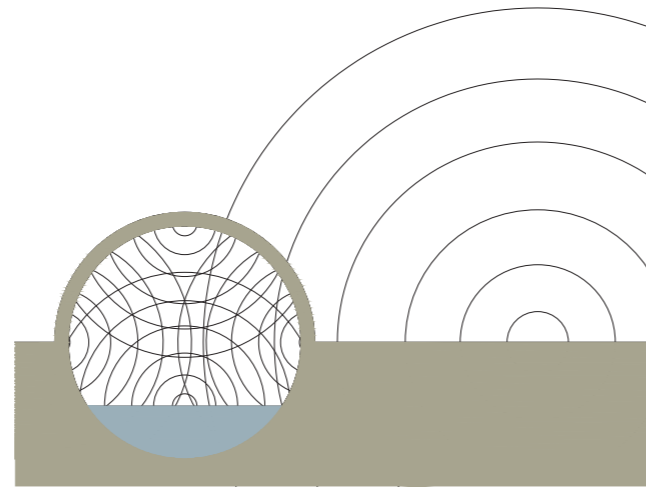
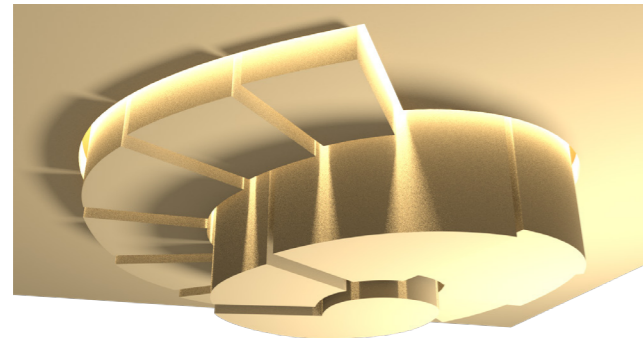
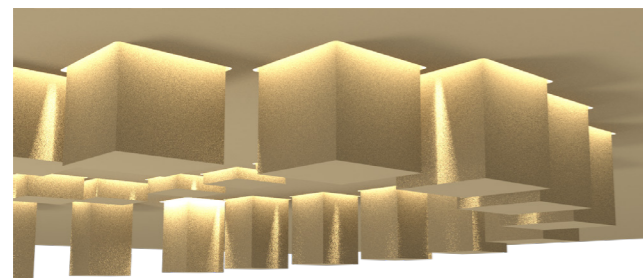
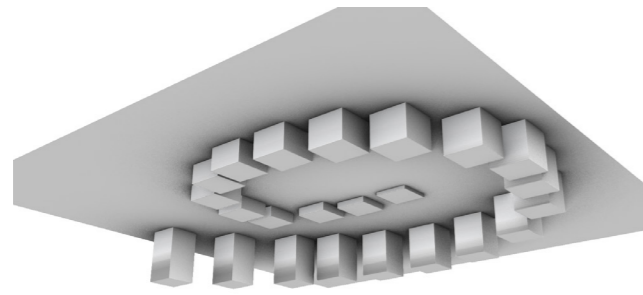
Detta projekt har varit ett samarbete mellan två studenter från *arkitektur och teknik* samt en student från mastersprogrammet *sound and vibration*. Detta samarbete har för oss fungerat mycket bra och har resulterat i att vi har kunnat dela upp arbetet inom respektive områden på ett fördelaktigt sätt. Vi började den gemensamma delen av projektet med att spåna idéer till akustiska prototyper tillsammans. Detta gjorde att vi redan från början hade en stark koppling mellan arkitekturen och akustiken vilket i det stora hela jag tror har lyft vårt projekt. Vi har kunnat se på en och samma akustiska prototyp från fler synvinklar än vad vi hade gjort om vi från början hade delat upp arbetet mellan disciplinen. En idé om en akustisk prototyp kunde genast få en arkitektonisk karaktär och en arkitektonisk detalj kunde snabbt integreras i det akustiska sammanhanget. Efter det initiala steget har vi jobbat en del på olika håll med arkitekturen och akustiken men alltid stämt av med varandra med jämna mellanrum. Vi har resonerat kring en prototyp tillsammans för att sedan jobba enskilt med samma prototyp fast med olika fokus. Efter någon dag sammanstrålade vi för att stämma av och knyta ihop delarna vi hade jobbat med. Detta har gett alla samma inblick i samtliga delar av projektet. Vi har kunnat stötta varandra i arbetet och därmed lärt mycket av varandra.

SAMSPLET MELLAN ARKITEKTUR OCH AKUSTIK

Vi har, som redan nämnt, från början haft ett tätt arbete mellan oss från *arkitektur och teknik* och studenten från *sound and vibration*. Detta gav oss goda förutsättningar att skapa akustiska moduler och prototyper som är väl integrerad i arkitekturen. Vi skapade alla våra initiala akustiska prototyper tillsammans och trots att inte alla prototyper är med i slutresultatet gav det oss en grund i hur vi kunde jobba med akustiken och arkitekturen tillsammans. I princip alla våra akustiska moduler och prototyper har en anknytning till byggnadens arkitektur. Vid scenen finns två stora skärmar i samma mörka nyans som sätena. Dessa ger en arkitektonisk avskärmning av scenen och bidrar till rummets karaktär samtidigt som de är mycket viktiga i att bidra med tidiga reflektioner. Balkongerna i hallen är organiska och nästan flyter ut från väggarna vilket är en stor del i hur rummet upplevs rent arkitektoniskt. De bidrar också till smidiga entréer då ens säte i princip alltid är i närheten till en entrédörr. Balkongerna har också akustiska kvaliteter då närheten till en vägg innebär att alla balkongplatser från en god *clarity* samt att undersidan av dem har en viktig del i att reflektera ner ljud till platserna på parketten. När man rör sig in i denna sal slås man av hur taket följer hela byggnadens spiraltema. Detta tak är även vad som gör efterklangstiden i rummet justerbar då det kan sänkas ner och därmed justera hela rummets volym. Även utsidan av bygganden har moduler som befinner sig i gränslandet mellan arkitektur och akustik. Fasaden är klädd med paneler som är tänkta att passa in i det steniga landskapet i området. Integrerat i dessa finns Schröderspridare (eng *Schroeder diffuser*) som bidrar till att skapa ett lugnt ljudlandskap i området kring byggnaden genom att minska ljudenergin som möter fasaden, sprida ljud och motverka stående vågor.

SAMSPEL MELLAN ARKITEKTUR OCH KLIMAT, KONSTRUKTION OCH LJUS

I och med att en stor del av denna byggnad befinner sig under jord behöver ett särskilt fokus läggas på hur denna miljö hanteras. Med de exponerade bergväggarna kommer ett visst kallt strålningsbidrag. I och med detta är alla personalytor under mark försedda med innerväggar som isolerar från den kalla klippväggen. En del av arkitekturen är just att uppleva att vandra "inne i berget" och det är på grund av detta vi har valt att inte isolera bergväggarna i som vetter mot spiralrampen. Temperaturen kommer dock regleras för att skapa ett behagligt inomhusklimat. För att skärma av buller från motorvägen och flygplanen har vi valt ett tjockt betongskal som bär upp konstruktionen ovan mark. För att inte ha vibrationsöverföringar in i hallen har vi valt att förankra spiralgången under mark endast i bergväggen och nedåt mot botten av den underjordiska håligheten. Vi har valt att jobba med dold armatur när det kommer till ljus i byggnaden. I själva hallen sipprar ljus in mellan modulerna i taket, vilket anspelar på känslan av att vara under mark och se ljus skina in genom springor i taket.



PROCESSEN OCH METODEN

Under de första veckorna låg fokus inte fullt lika mycket på akustiken som det skulle komma att göra senare. Vi började med att göra undersökningar i naturen och att försöka hitta inspiration i hur ljus, ljud och krafter kan te sig på olika platser. Under denna fas hittade vi bland annat ett betongrör som vi tyckte hade intressanta akustiska kvaliteter. Vi började bryta ner vad det var vi upplevde i detta rör och diskuterade bland annat hårda ytmaterial och cirkulära rörelser. Betongröret i sig ges inte mycket uttryck i det slutliga resultatet men dessa nyckelord vi identifierade har följt med hela vägen. Man kan se det hårda materialet i de exponerade bergsväggarna och den cirkulära rörelsen är hjärtat i hela projektet. Takmodulen är något som har varit med redan från första samarbetet mellan disciplinen men som har ändrats mycket längs vägen. Allt eftersom har ljus integrerats och formen har fått följa resterande del av byggnadens arkitektoniska uttryck. Arbetet har flyttit på väldigt bra och vi har egentligen inte stött på några större problem som inte gått att lösa vilket har gjort att processen har känts väldigt rolig och givande.

Utformningen av balkongerna i hallen fick ta en ny form en bit in i projektet. Till en början jobbade vi med tre större balkonger – en på varje nivå. När vi började jobba med hur vi skulle hantera den konkava formen på hallens insida och de oönskade akustiska fokuspunkterna detta resulterade i började vi fundera på hur vi kunde utnyttja balkongerna för att skapa bättre akustiska förutsättningar i hallen. Vi insåg att deras böljande form kunde motverka den konkava inre formen. Samtidigt kunde deras anslutningar till rampen effektiviseras när de segmenterades. Rampen kommer ansluta på lite olika höjd vid varje entré på grund av dess lutning och vi hade nu möjlighet att höja och sänka varje segment för att matcha detta. Slutligen har vi utnyttjat balkongernas undersida för att uppnå bra ITDG i rummet då de hjälper till att reflektera ner ljudet till parketten.

SAMMANFATTANDE REFLEKTION

Att framföra och förmedla alla våra tankar och idéer har varit en av de stora utmaningarna i detta projekt. Tanken om en ramp som cirkulerar runt en fristående hall under jord i kombination med en uppåtgående ramp ovan mark har funnits med länge. Det var en av våra initiala iterationer. Denna idé var till en början svår att ta från ett konceptuellt stadiet till en faktiskt fungerande byggnad. När vi väl hade fått logistiken i byggnaden att fungera var nästa utmaning att förmedla det på planscherna. Det slutade med en sektion med lite djup i kombination med tre små renderingar från rampen och en text som förklarar konceptet. Spirälörelsen hade nog gynnats av ännu mer utrymme i text men på grund av platsbrist på planscherna var vi tvungna att hålla det kort. Något jag uppskattar mycket med vårt projekt är att akustiken följer med genom stora delar av byggnaden – från Schröderspridarna på fasaden, till den justerbara akustiken på den underjordiska rampen och takmodulen inne i hallen. Takmodulen har varit en mycket central del i vårt projekt och denna har därför fått ta upp mycket plats på planscherna.

Jag tycker att de akustiska prototyperna och koncepten lyfter detta projekt mycket. Vi har lagt mycket tid på att integrera akustiken i arkitekturen och jag tycker att det skiner igenom i projektet. Vi har haft väldigt mycket material vi har velat ha med på planscherna och har därför fått jobba ordentligt på den grafiska designen och hur vi skulle sammanställa allt. Platsbristen resulterade i slutändan med att de tre planscherna inte följer samma mall, vilket hade kunnat vara bra för helhetsintrycket. Vi kände dock att vårt projekt blev lättare att förstå om allt material kunde ges utrymme. Detta projekt har varit otroligt givande och framför allt väldigt roligt. Det jag har uppskattat mest är att få utforska hur akustiska verktyg och prototyper kan samspela med och integreras i en byggnads arkitektoniska kvaliteter. Att ha ett samarbete med studenter från ett annat disciplin har varit oerhört givande i just denna aspekt. Mycket fokus har lagts på att undersöka hur en byggnad fungerar, inte bara rumsligt, utan även utifrån andra aspekter som akustik, klimat, konstruktion och ljus.