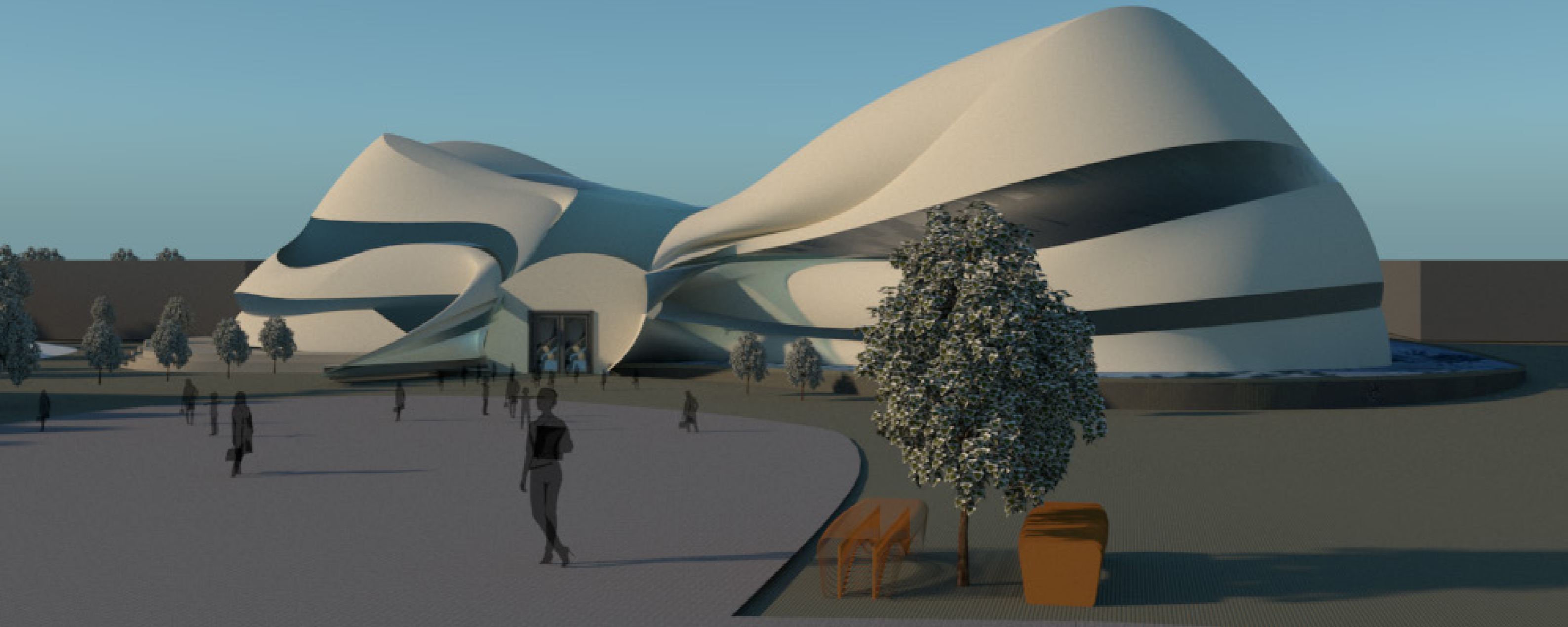


Sweep IN - A Journey along the Curves



Namn: Rasha Alasmi

Kurs: ACEX15- Kandidatarbete i Arkitektur & Teknik VT22

Gruppmedlemmar: Viviane Barbiche och Jesper Holsten

Examinator: Morten Lund

Handledaren: Morten Lund, Peter Christensson, Wolfgang Kropp

Omfattning: 15 hp

Digitala Verktyg: Rhino, Vray, Revit, Autocad, InDesign, Illustrator, Matlab, Phyton

Kursen: Kandidatarbeten för Arkitektur & Teknik är i samarbete med en student från masterprogram "sound and vibration." Syftet med samarbeten är att kombinera kunskaper inom arkitektur och akustik genom en iterativ designprocess, för att designa ett teater. Teatern ska rymma 700 besökare och ska användas både till drama och musikevenemang. Kandidatarbetet baseras på en tävling, 'ASA Student Design Competition 2022', utlyst av 'Acoustical Society of America.'

Process

I början av projektet studerade vi mycket om olika ljus och ljudmiljöer för att söka efter inspiration. När förstudien gjordes började vi skissa tre olika koncept för teatern för att sedan gå vidare med ett av dem. Största utmaningen var teatern utformning och placering 60 m från en motorväg. Sedan tog vi fram olika akustiska prototyper och integrerade dem med minst en funktionell egenskap bland ljus, klimat eller struktur. I nästa fas presenterade vi våra tre koncept för akustikstudenten som hjälpte oss att välja ett av de tre koncepter. Jag och Viviane har alltid arbetat med vassa former och inte testat innan dess att arbeta med organiska former. Därför ville vi att utmana sig själva och testa arbeta med böljande former den här gången. Under arbetsgång fick vi många utmaningar och gjorde vi flera viktiga val. Rörelse längs kurvorna är något som har varit med redan från början och som vi försökte att behålla i hela processen. En stor del av tiden gick åt att utveckla vår koncept och hitta en effektiv planlösning till teatern. I projektets avslutande fas modellerade vi teatern på Rhino och detta vara inte så enkelt. Vi hade några svårighet att få de mjuka kurvor med interiört och exteriört och sen slå ihop interiören och exteriören i en modell. Tillslut tycker jag att vi lyckades att få den perspektiv vy vi vill att visa och få ett spännande projekt med många kvalitéer. Nedan presenteras de tre olika koncept i korthet.

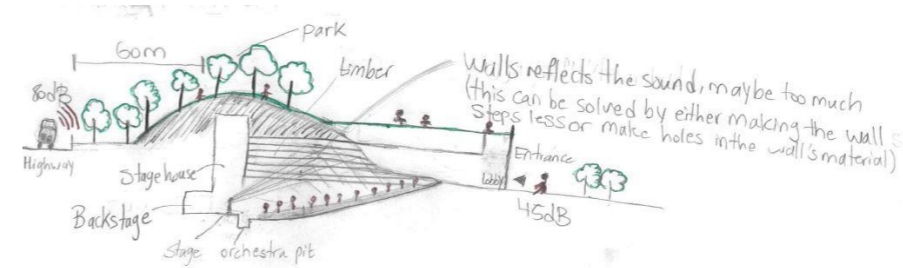
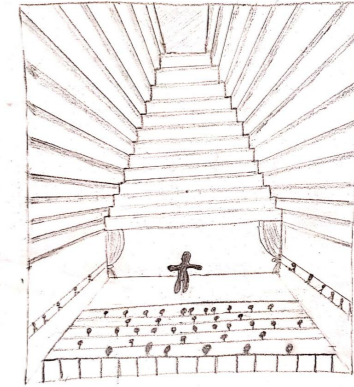
Koncept 1 (The Curve)

Konceptet inspirerades av kurvor i The Grand Canyon i Arizona, USA. Det var önskat att skapa rörelsekurvor för att ge besökarna känslan av att svepa in i byggnaden genom att följa kurvorna hela vägen från entrén till auditoriet. Det var också tänkt att dra fördel av kurvors bra förmåga att reflektera mjukt ljud inne i auditoriet.

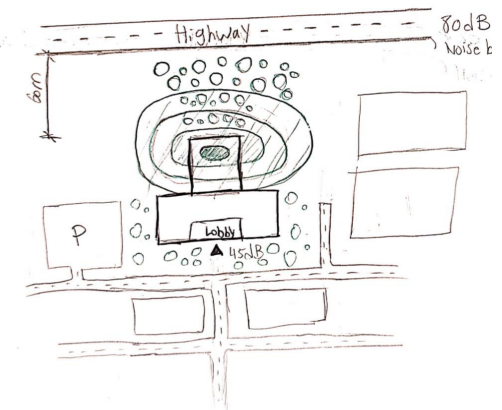


Koncept 2 (The Pyramid)

Koncept inspirerades av The Red Pyramid i Egypten. Tanken var att gräva ner auditoriet för att isolera den från omgivningen buller. Auditoriet är gömt under en kulle, och resten av byggnaden är synlig och går att gå över byggnadens tak. Interiört är väggarna lutade och har en stegande design som en trappa för att få känsla att vara inne i en pyramid.

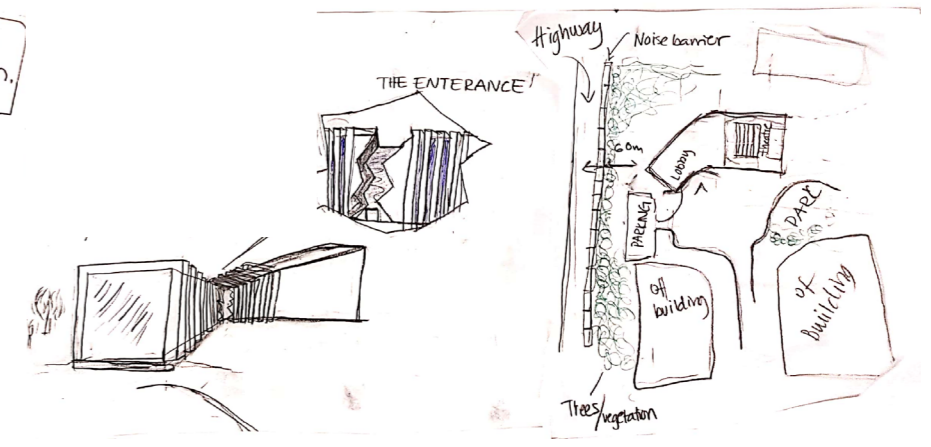
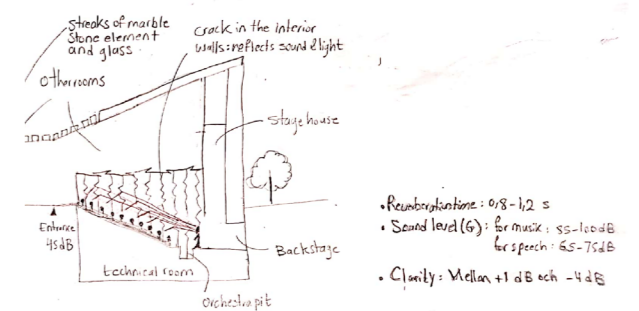


- Reverberation time i konsertshallen: 0,8-1, 2 s
- Sound level: • Musik: 85-100dB
• Speech: 65-75dB
- Clarity: Mellan +1dB och -4dB



Koncept 3 (The Crack)

Konceptet kom från idén att när starka ljudvågor träffar en yta skapar det en spricka. Vi ville experimentera med ljus- och ljudreflektioner och kombinera det med en typisk sprickform. Vi tyckte att det skulle vara intressant att leka med sprickornas storlek och form för att experimentera olika reflektioner.



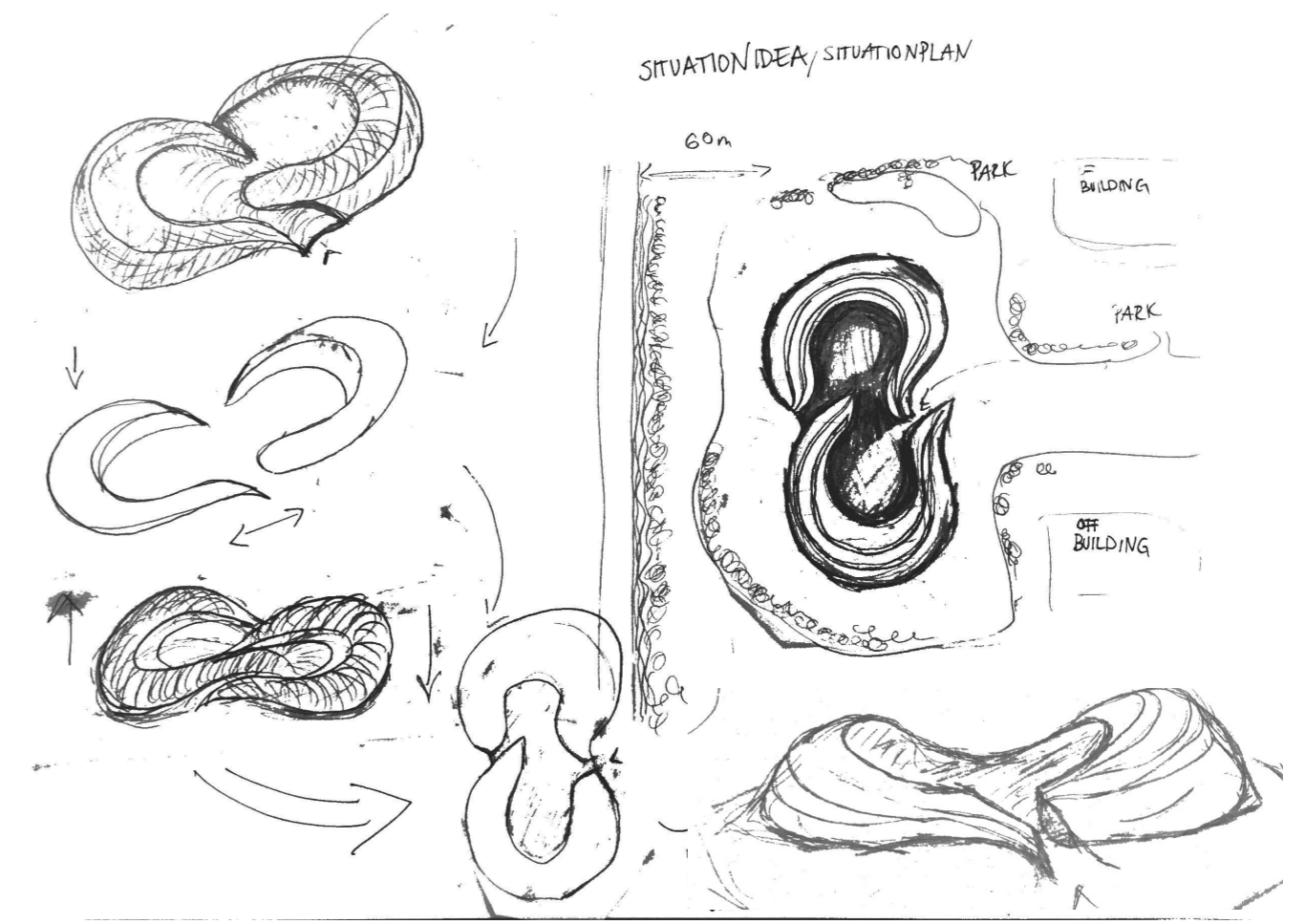
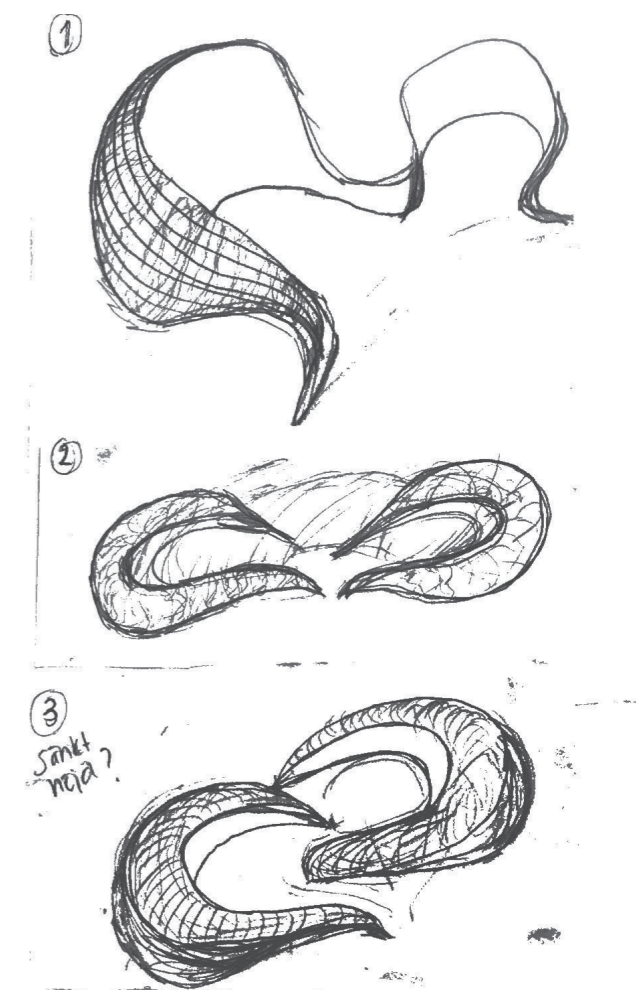
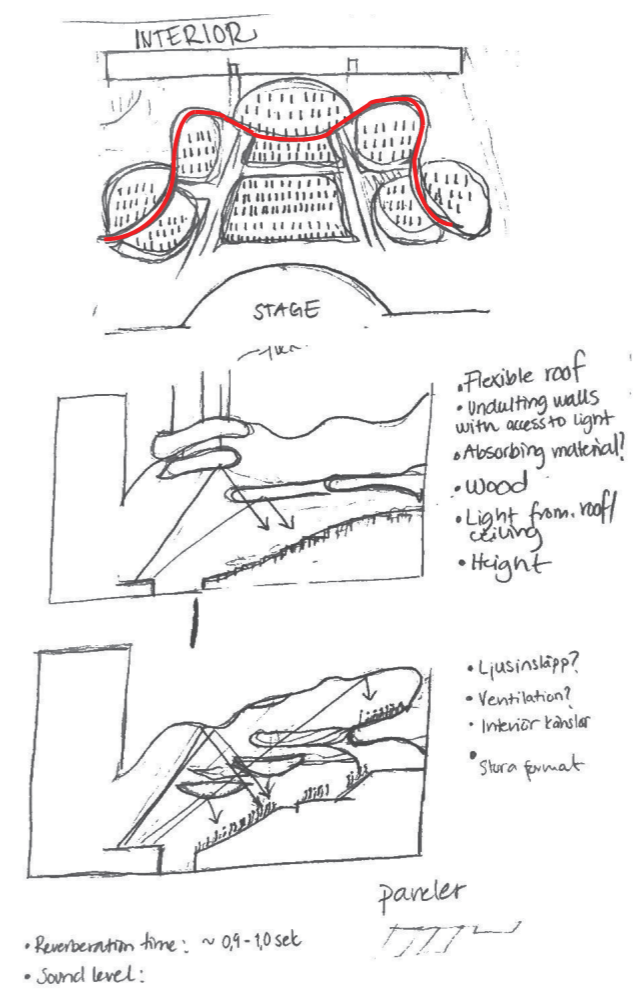
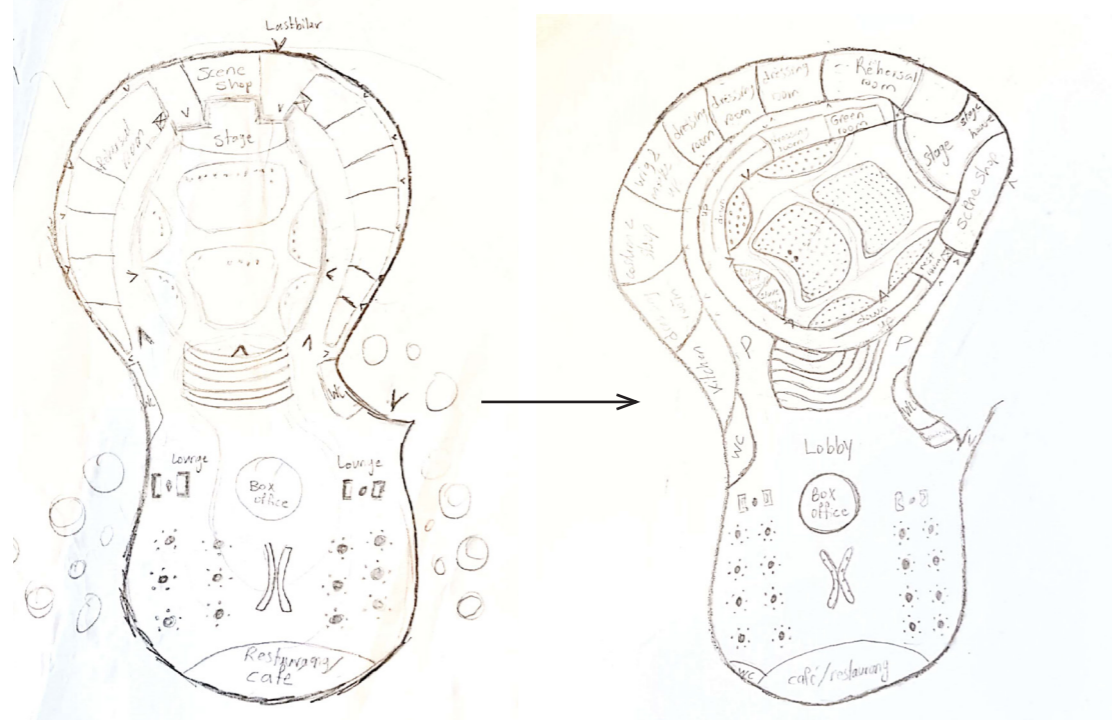
Sweep IN Konzept

Efter att konceptet bestämdes till The Curve, började vi skissa flera alternativ av hur exteriören och interiören ska se ut. Vi försökte att behålla konceptet av rörelsen längs kurvorna under hela processen. Vår utgångspunkt var att ge besökare en unik upplevelse av att vara inne i ett kurvigt utrymme och att följa kurvorna hela vägen från entrén till sina platser i auditoriet. Byggnaden ska användas för flera aktiviteter än teater både exteriört och interiört.

Inuti auditoriet försökte vi optimera de 700 sittplatser placering, genom att få en kompakt auditorium, en mjuk rörelse samt behålla samma kurvan (röda kurvan i bilden till höger) under hela processen. Vi skissade också flera alternativ om hur vi ska placera auditoriet för att få den rörelse vi önskar. Därför roterat vi auditoriet och ändrat lite i formen så att den sticker ut. Nedan presenteras hur vi utvecklade byggnadens form och auditoriet placering.

Exteriört önskade vi att skapa en byggnad mer allmänt för offentligheten och nå sociala, ekonomiska och ekologisk hållbarhet. För att byggnaden ska utnyttjas på bästa sätt till andra aktiviteter bestämdes vi att skapa två volymer dock i en sammanhängande byggnad. Efter en rad skissritningar med olika konceptuella diagram och med hjälp av lera modeller bestämdes formen. En trappa placeras vid fasaden mot söder för att ge utrymme för sittplatser och ett möte för sociala interaktioner. På fasaden mot norr placeras en bassäng för att njuta av en härlig promenad runt om byggnaden. Vi även diskuterade att skapa gångar längs fasaden för att ge besökare möjlighet att följa kurvorna på samma sätt som interiört.

Vi diskuterade också mycket om byggnadens placering både med hänsyn till motorvägen och ur estetisk synpunkt. Vi försökte att placera auditoriet långt borta från motorvägen och samtidigt dölja motorvägen från besökare synen.



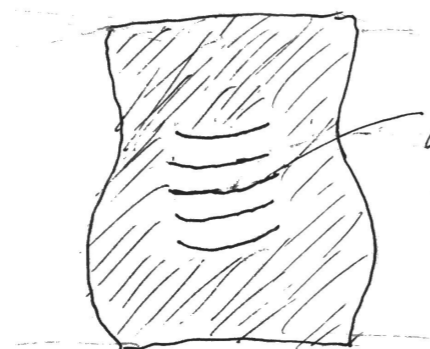
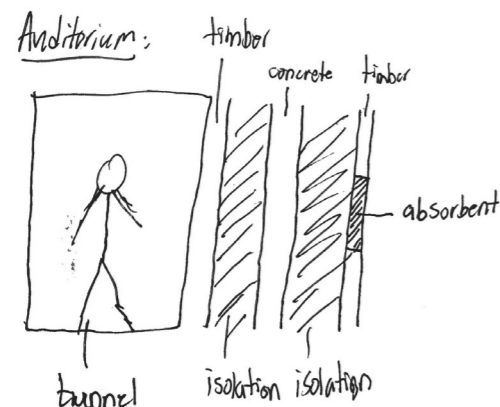
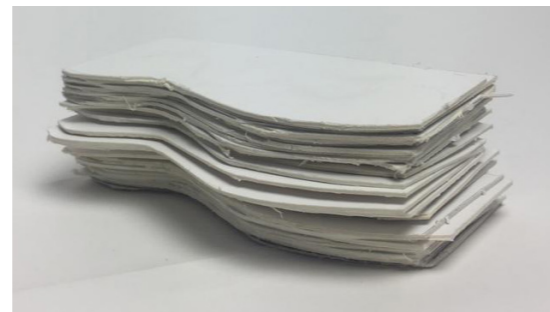
Sweep IN Prototyper

I början av projektet togs det fram flera akustiska prototyper med ambition att kombinera arkitektur med akustik. Sedan vidare utvecklade vi prototyperna som inte bara har akustiska egenskaper men också integrerar med minst en funktionell egenskap bland ljus, klimat eller struktur. Prototyperna ändrades senare under projektet men principen är densamma. Nedan presenteras de tre olika prototyper i korthet.

Prototyp 1: ljudabsorberande panel

Egenskaper: Ljud-ljus

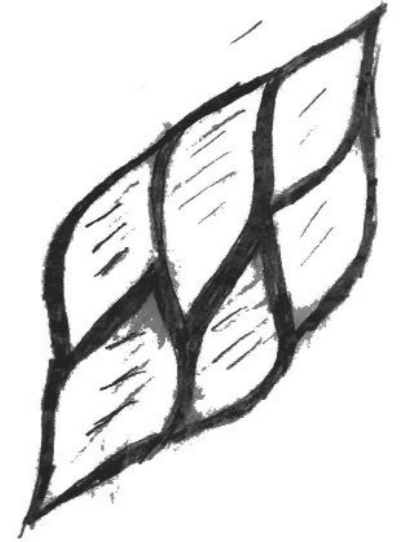
Beskrivning: I vissa delar av väggarna och taket inne i auditoriet, placeras absorberer som bildar utstickande kurvor av trä. Väggsabsorberer fungerar både för att absorbera buller och som en källa till artificiellt ljus. Väggsabsorbererna kan justeras efter behov för att absorbera olika ljudfrekvens genom öppning och stängning.



Prototyp 2: Fasadelement

Egenskaper: Ljud-Ljus-klimat-struktur

Beskrivning: Fasaden är byggd av strimmor av armerade fiberbetong och glas. Fasadelement med förmågan att synkronisera med trafikens aktivitet ska användas på fasaden. De elementen har sensorer och synkroniserar med trafikrytmen genom att stänga när trafiken är i hög aktivitet för att reflektera bort ljudvågorna och öppna när det är mindre trafik. På så sätt kan vi få in ljus inne i byggnaden under dagtid och naturlig avkylning under kvällstid.



Öppen

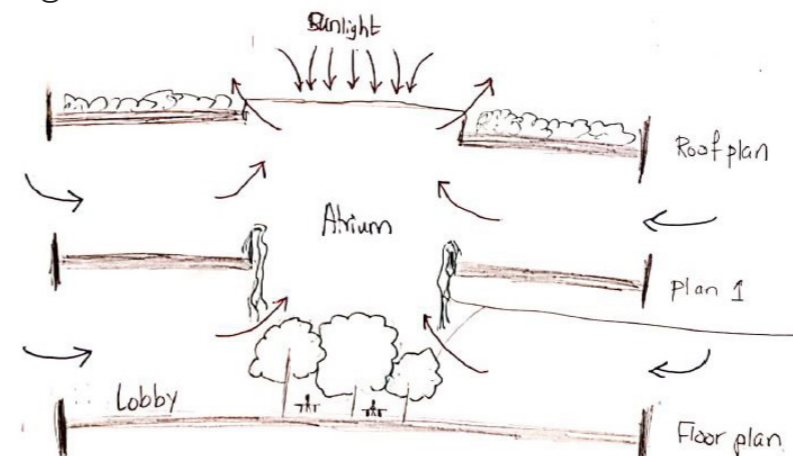


Stängd

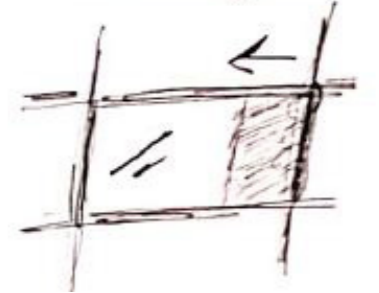
Prototyp 3: Atrium

Egenskaper: Ljud- ljus-klimat

Beskrivning: Ett atrium över trappan i hjärtat av byggnaden finns för att skapa samlingsmöjlighet för besökarna att umgås i väntan på att föreställningen ska börja. Atriet fungerar som solljus och avkylning källa. Det skapar också en intressant ljudeffekt som bestäms av absorption och spridning av ljud. Glaset kan skuggas för solavskärmning och öppnas för avkylning.



shading system



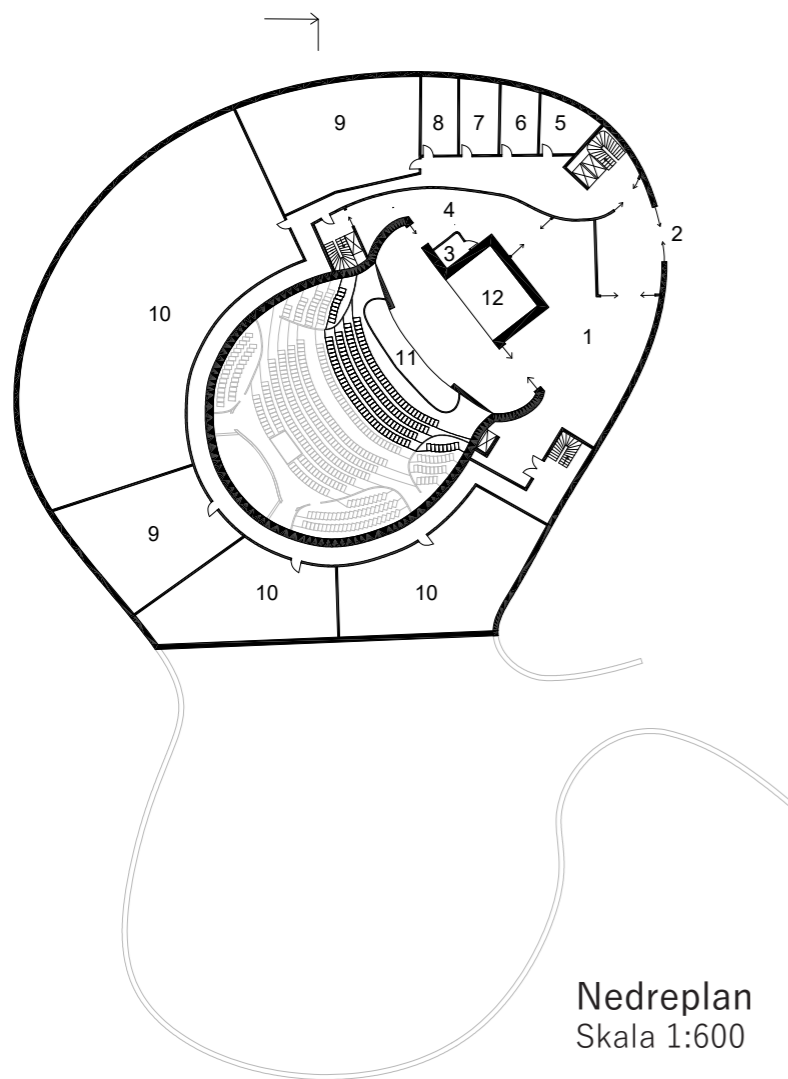
opening vents



Sweep IN Plan

Nedreplan (Scennivå)

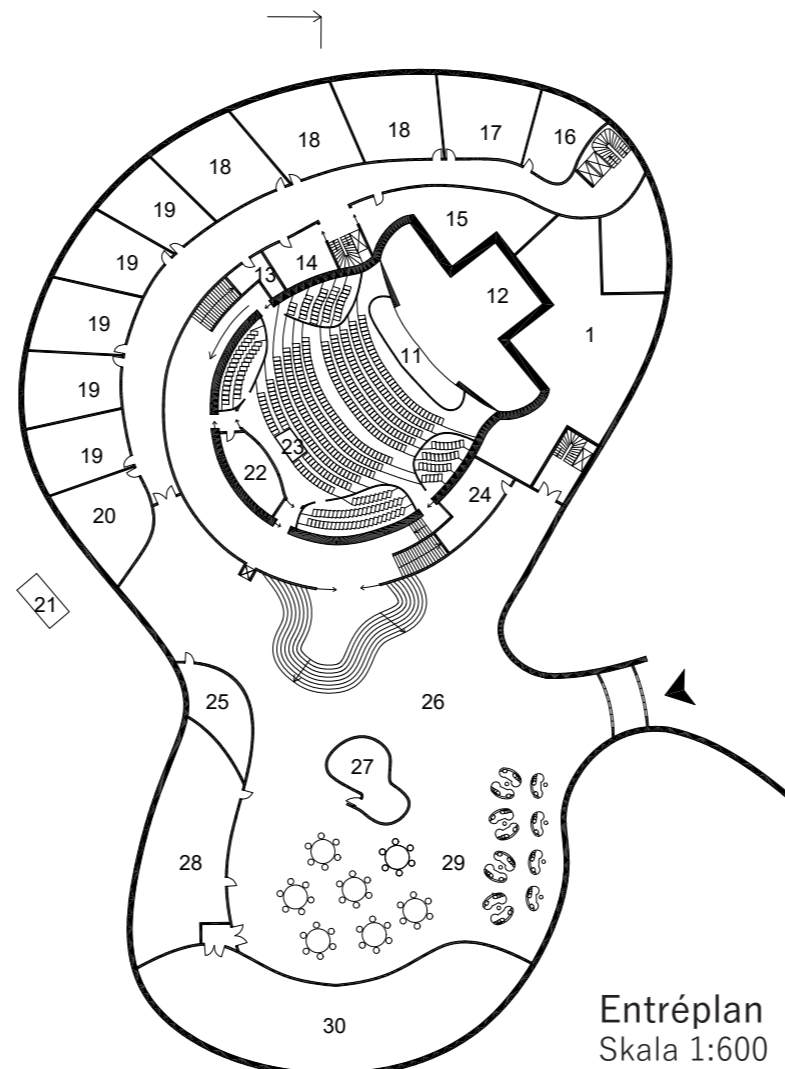
Nedreplanen är samma nivå som scenen och är nergrävd under marken. De sittplatser som finns i nedreplanen kan nås genom en trappa i auditoriet. Green room och scenverkstaden är placerade bakom scenen för direkt tillgänglighet. Scenverkstaden har också en lastkaj under marken för på/avlastning av varor. Då mestadels av nedreplanen är tekniska utrymmen har auditoriet tjocka väggar och en tunnel runt om för att minimera ljudinsläpp.



- 1 Scenverkstad (310 m²)
- 2 Lastkaj
- 3 Off-stage WC (6 m²)
- 4 Green Room (80 m²)
- 5 Ställagerum (25 m²)
- 6 Dimmerrum (25 m²)
- 7 Belysningsutrustning (28 m²)
- 8 Inspelningsutrustning (28 m²)

Entréplan

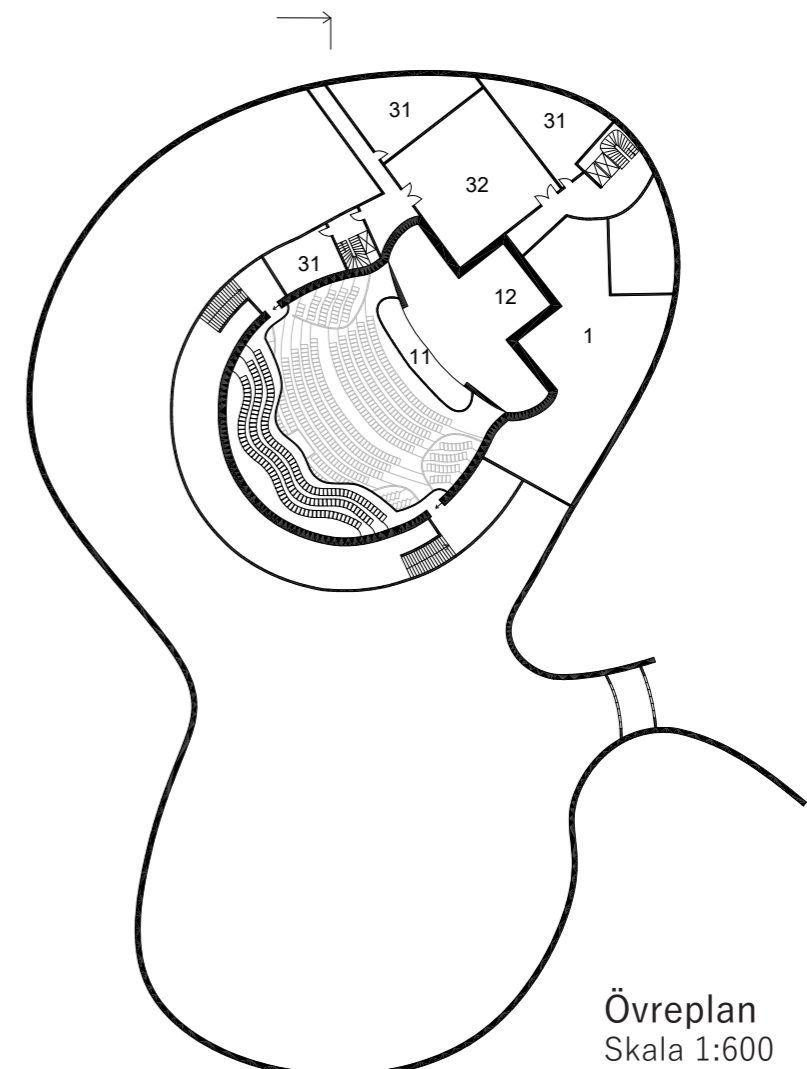
Formen är utformad på ett sätt där den större och högre volymen har auditoriet och den mindre och lägre volym har lobbyn. Entrén är placerad mellan de två volymerna och sveper in genom den kurviga formen. Lobbyn är ett multifunktionellt utrymme som kan anpassas med mellanväggar och användas till bland annat möten, middagar eller till och med lanseringsevenemang. Från lobbyn på entréplan har besökare möjlighet att ta sig upp en våning eller ner genom den akustiska tunneln till auditoriet.



- 9 Mekanisk utrustning (170/140 m²)
- 10 Förråd
- 11 Orkesterdike (32 m²)
- 12 Scenvind
- 13 Rekvizita (11 m²)
- 14 Peruk & smink (27 m²)
- 15 Kostymrum (83 m²)
- 16 Omklädningsrum, dirigent (27 m²)

Övreplan (Balkongnivå)

Övreplanen är samma nivå som balkongen och är ganska hög för att rymma de höga scenvinden och scenverkstaden. Övning och uppvärmning rum är placerad på övreplanen för att skydda den från buller från de omgivnings rummen och säkerställa samma ljudmiljö som auditoriet.



- 17 Scenarbete (70 m²)
- 18 Omklädningsrum, kör (77 m²/rum)
- 19 Solo-omklädningsrum (56 m²/rum)
- 20 Konferensrum (60 m²)
- 21 Kylare
- 22 Kontrollrum (28 m²)
- 23 Ljudmixposition
- 24 Förråd

- 25 Garderob (45 m²)
- 26 Lobby (350 m²)
- 27 Biljettkontor (38 m²)
- 28 WC (80/60/10 m²)
- 29 Restaurang (500 m²)
- 30 Kök (310 m²)
- 31 Förråd
- 32 Övning och uppvärmning rum (160 m²)
- 33 Strålkastare (22 m²)(Sektion)

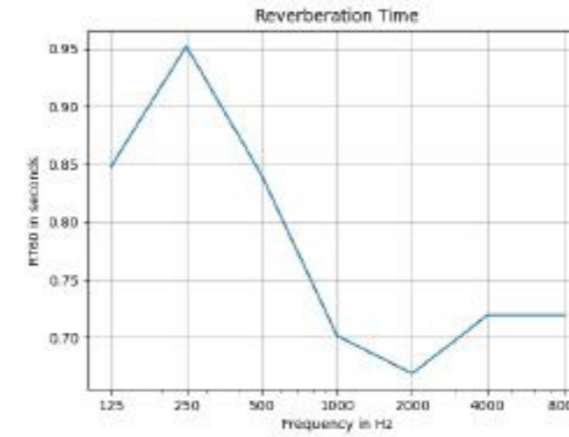
Sweep IN Sektion

Sektionen visar hur auditoriet är täckt av tvåskiktstak för ytterligare ljudisolering samt för att skapa utrymme för strålkastare rum. Detta ger auditoriet formen av ett yttre skal och stärker ljudisoleringen. Dessutom är auditoriet något försänkt i marken så att en mindre yta utsätts för direkt buller. Väggarna och taket i auditoriet består till stor del av den ljudabsorberande paneler, variabla absorbenter som kan anpassa efterklangstiden efter behov.

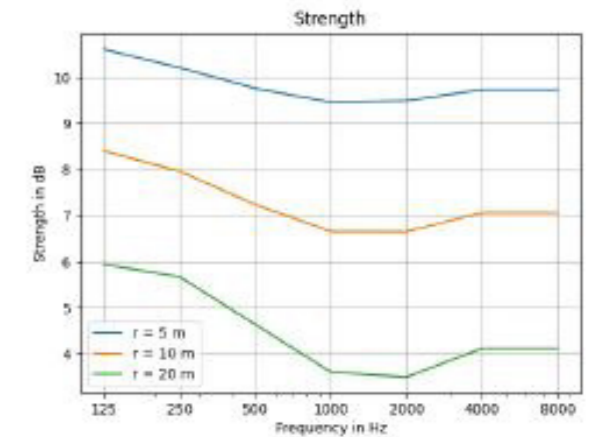
För den akustiska designen i auditoriet har vi bestämt oss för en efterklangstid på lite under en sekund eftersom detta är ett bra värde för både tal och musik. En beräkning av efterklangstiden är gjort genom att använda Sabines formel med en genomsnittlig absorptionskoefficient för alla ytor i auditoriet. Vi fick en efterklangstid mellan 0.65-0.95 s beroende på ljud-frekvenserna.

Ljudstyrkan mäter ljudnivån i auditoriet i förhållande till ljudnivån i ett ekofritt rum. Vi har beräknat ljudstyrkan för tre olika avstånd och värden sträcker sig från 3,5 dB till 10,5 dB vilket är rimligt. Ljudstyrkan är beroende på efterklangstiden och är ganska hög i låg frekvens området. Detta kan justeras med variabla Helmholtz-absorbenter.

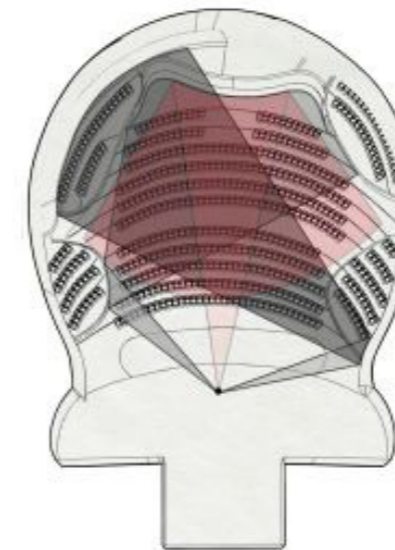
Vi har inkluderat några diagram som visar de tidiga reflektionerna i det vertikala och horisontella sektionen i auditoriet. För att undvika fokuspunkter har vi lagt till en icke-symmetrisk krökning på väggarna. Vi har också placerat några högtalare där det behövs. Auditoriet är väldigt litet med en ITDG mellan 9,2-17,6 ms, så en placering av högtalaren nära scenen skulle göra jobbet. Den låga rt_{60} och ITDG ger ett bra ljud klarhet i auditoriet.



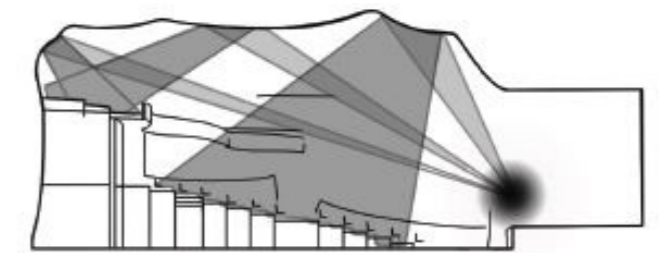
Efterklangstid



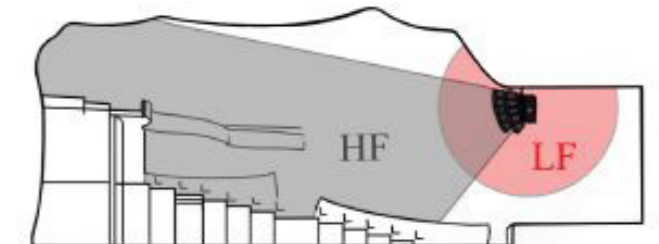
Ljudstyrka



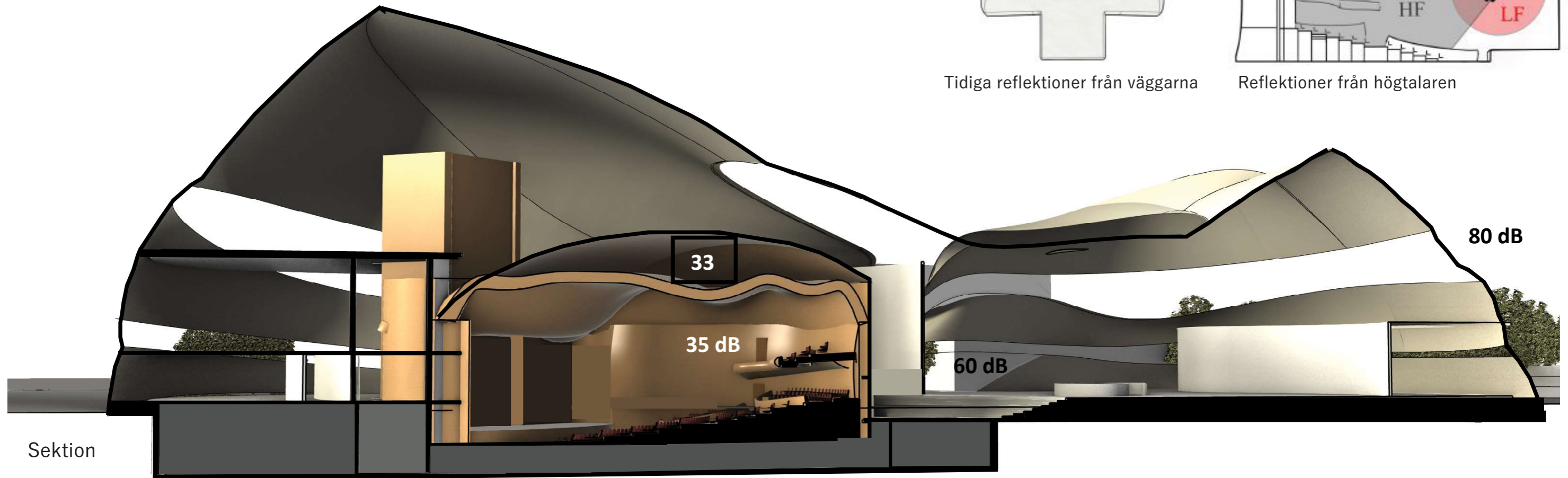
Tidiga reflektioner från väggarna



Tidiga reflektioner från taket



Reflektioner från högtalaren



Sweep IN Auditorium

Besökare kommer in i auditoriet, den skyddade kärnan och det första de lägger märke till är de vackra böljande ytor som omfamnar hela hallen. De mjuka böljande kan ses på väggarna, taket samt räcken runt om sittplatserna. Detta för att ge besökare en upplevelse att följa kurvorna i en svepande rörelse för att nå sina sittplatser. Kurvorna är inte bara vackra men också har bra förmåga att sprida ljudet effektivt istället för att grovt reflektera det. Den ljudabsorberande paneler finns över väggar och tak, paneler lyser upp salen när besökare kommer in och dimmer när föreställningen ska börja.

Från lobbyn kan auditoriet nedre och balkongnivå nås genom en akustisk tunnel. Tunneln är utformad runt auditoriet för att minimera buller och isolera det akustiskt från de omgivande rummen. Väggen mellan auditoriet och tunneln är 80 cm, betong som bärande struktur och trä som ytmaterial på både håll.

I auditoriet, de 700 sittplatserna är placerade ganska kompakta i förhållande till varandra, ett antal på 14 m mellan scenen och baksätena för att minska onödiga reflektioner och för att få optimalt ljudklarhet. Auditoriet har ett orkesterdike som kan användas som sittplatser för icke-musikaliska föreställningar. Väggen under balkongen flödar utåt för att minska volymen och därmed öka ljudkvaliteten för baksätena under balkongen.

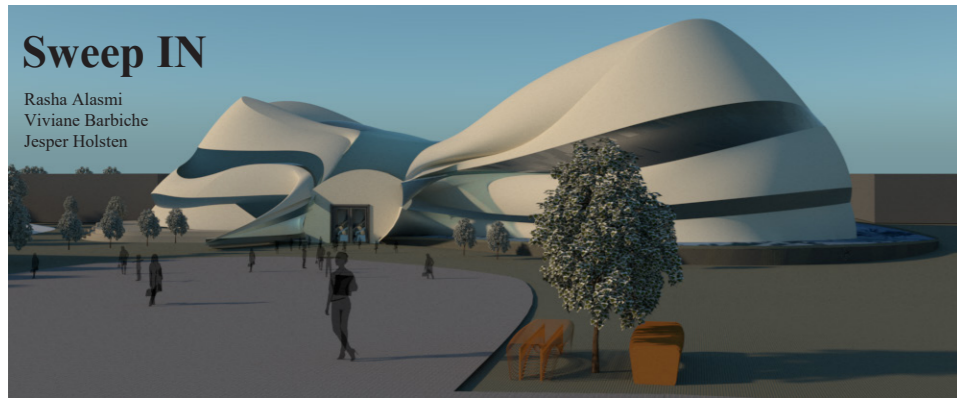


Sweep IN Reflektion

Som helhet är jag väldigt nöjd med projekt resultat och upplevelsen av att arbeta med organiska form. Jag tycker att vi lyckades att skapa miljöer, såväl inne som ute, med goda akustiska och arkitektoniska kvaliteter. Exteriört skapade vi en miljö som var skyddad av buller från den stora motorvägen. I auditoriet uppnådde vi våra önskade värden när det kommer till en variabel akustik för att kunna passa såväl tal som musikföreläsningar. Vi lyckades med akustikstudenten att skapa ett kompakt auditorium därmed fick vi bra värde till efterklangstid, ljudstyrka samt klarhet. Samarbetet med akustikstudenten fungerade bra och det har varit väldigt givande och roligt att samarbeta med en student från ett annat område. Det var dock lite utmanande att hitta ett bra arbetsmetod för att få akustikstudenten att vara mer involverad i början av projektet.

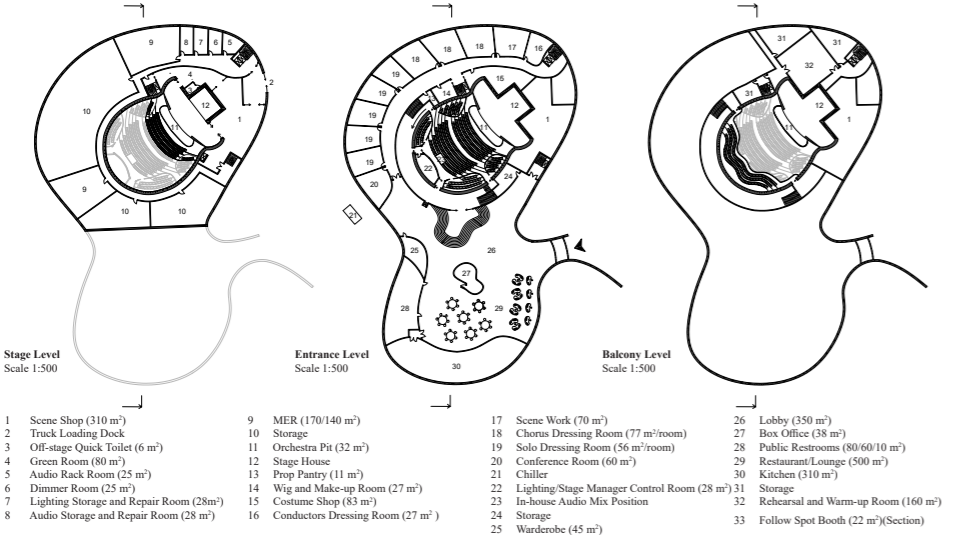
Programskrivningen av tävlingen var väldigt omfattande och vi var tvungna att tänka rationellt och lägga inte fokus och tid på fel saker. Den iterativa designmetod var väldigt lärorik och effektivt sätt att arbeta med. Den långa konceptuella fasen fås vi möjlighet att tänka genom alla olika delar av projektet. Tyvärr har vi tidsbrist i slutet av arbetsgången och var tvungna att välja bort att ha med prototyperna på de renderande bilder.

För att både bidra med hållbart och energieffektiv projekt sätter vi upp egna hållbarhetsmål. Då byggnadens fasad är böljande är det inte möjligt att bygga det av ett annat material än fiberbetong, därmed ställer vi oss inför en stor hållbarhetsfråga. Vi önskar att vara med och förändra byggbranschen ur miljösynpunkt och ställer krav på industrin genom att hitta lösningar och gör betong byggnation mer hållbart i framtiden. Förutom detta är det möjligt att använda återvunna material såsom glas och fiberbetong får att användas i fasadelementen. Då fasadelementen är uppdelad till små delar, är det också enkelt att transporteras.

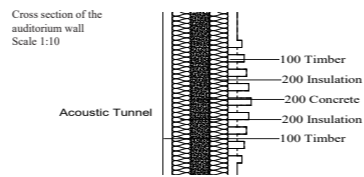
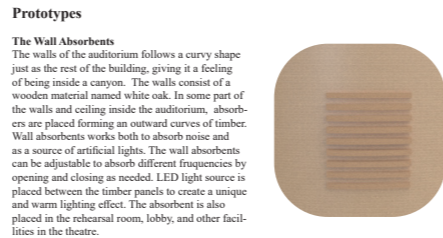


Concept
The concept of this architectural project was inspired by curves and the Antelope Grand Canyon. It was wished to create motion curves to give the visitors the feeling of sweeping into the building by following the curves all the way from the entrance to the auditorium. It was also intended to take advantage of the curved surface ability to reflect sound waves inside the auditorium by designing the construction elements in curved shapes. By giving the interior an organic and curvy design we also wanted the exterior of the building to reflect the interior of the theatre. Therefore the facade is also inspired by the shapes of the Canyon stones designed by organic and parametric facade elements to highlight the feeling from the beginning of the visitors journey into the theatre. The facade is covered with strips of glass to allow sunlight to sweep in and create natural light beams. In the heart of the building, a larger surface of glass placed to create an atrium over the stairs welcoming the visitors into the auditorium.

Siteplan
The theatre is located in Munich, Germany, a flat area with rich variation in vegetation and official buildings nearby. Parks and garage are placed near the theatre building sharing the official buildings' access to water and electricity. The six-lane highway is located 60 m away from the theatre, whereas the theatre building is designed in a way that the lobby is placed closest to the motorway and the auditorium placed furthest to reduce the noise from the highly active traffic, with a sound level of 85 dB. Vegetation is planted alongside the highway, and noise barriers is placed to further minimize the noise. A truck path is built underground for an easy access to truck loading, to and from the building. A water pond surrounds the building for aesthetic purpose and to minimize noise from the surrounding buildings.



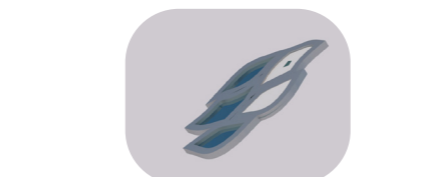
The Plan
The form of the plan is well thought out in consideration of surrounding noise and the relation between the rooms. The form is designed in a way where the larger and higher volume has the auditorium and the smaller and lower volume has the lobby. The entrance is placed in between the two volumes and sweeps in through the curvy form. The lobby is a multifunctional space that can be adjusted by partition walls to be used for reception, meetings, dinners or even launch events. From the lobby, the auditorium's lower and balcony levels can be reached through an acoustic tunnel. The tunnel is designed around the auditorium to minimize the noise and isolate it acoustically from the surrounding rooms. The wall between the auditorium and the tunnel is 80 cm of concrete as carrying structure and timber as finish material. The auditorium is covered by two-layer ceiling for further sound insulation as well as to create room for the spot follow booth room. This gives the auditorium a shape of an outer shell. In the auditorium, the 700 seats are placed quite compact to each other, a number of 14 m between the stage and the end of the theatre hall to reduce unneeded reflections and to get optimal sound clarity. The auditorium has an orchestra pit that can be used as seats for non-musical performances. The orchestra pit can be accessible for performers with mobility assistance by an elevator placed in the scene shop. The wall under the balcony floor is flowing outwards to reduce the volume thus increase the sound quality for the back seats. Moreover the performers' room such as the scene shop and the green room are placed in a way to optimize accessibility during performances. Performers can warm up and do rehearsals in both the scene work and the rehearsal room placed in the entrance and balcony floor respectively. The rehearsal room is 12m wide and deep and is designed in a way to represent the stage play area. The same wall absorbers used in the auditorium to be used in the rehearsal room to ensure the same setting as the stage.



C-value
We want to achieve a high quality of sight view to the audience by considering an optimal C-value. C-value is the vertical distance in mm between the line of sight and the eyes of the person in front. We don't want the audience to have the need to tilt their head backwards or to look between the front heads to be able to see the stage. To achieve this, we consider a value of 120 mm for C-value for both the lower and balcony level. A result of 27 cm step rise between each row of seats will give the visitors an optimal sight comfort.

C-Value(mm)	Description
60	Need to look between heads in front
90	Need to tilt the head backwards to see
120	Optimal sight standard
150	Can see well even if the front audience with hats

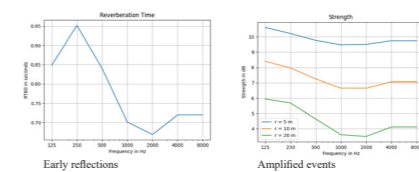
The Facade Elements
The construction of this building is of a steel-parametric framework along the strips of both concrete and glass. The building material of the exterior is made of reinforced fiber concrete due to its complexity, with its efficient characteristics to shape the very curved and parametric forms of the facade. Glass is also used in order to let light in from all around the facade. The glass strips are placed mostly in a higher level of the walls for the dressing rooms but in a lower level in the lobby to maximize the light intake. One prototype is an artificial one, with the ability to synchronize with the activity of the traffic from the highway. As during nighttime the highway is usually not as active as during daytime so why not take advantage of that. By having a facade element of panels that has sensors and syncs with the traffic rhythm by closing when the traffic is in high activity in order to reflect away the sound waves and by opening when there is no traffic. In this way we can enter light inside the building during daytime but also use the glass as a natural cooling system during night. This element is placed on the side of the facade that is directed to the highway. The design of these facade elements follows the shape of the curvy building.



The Indoor Climate
The indoor environment is an important part of creating a good comfort for both the audience and staff. The theatre building is not only a large building but also accommodates more than 700 people. The high roof and glass facade will cause a lot of free heat and therefore the need of cooling. To cool down the auditorium and the overall building, we need both natural and artificial ventilation. Inside the auditorium, the warm air rise up causing higher temperature in the upper seats. Vents supply air is placed under each seat and controlled accordingly with help of fans. Fresh air travels from the ground level to the MER room through ventilation ducts, to reach the right places. The exhaust air is then controlled by fans out of the roof. There is two MER room placed in different locations to cool down both the audience seats and the stage. A chiller is placed outdoor 5 m far away from the building's facade to transfer the heat from indoor to outdoor. To cool down the lobby and other facility, an atrium is created over the stairs in the center of the building. An atrium works both as a sunlight source during the day and natural ventilation(stack effect) during the evening. The facade elements can also contribute in cooling down the lobby and other facilities. The building's entrance is located southwest to optimize daylight into the entrance and lobby.

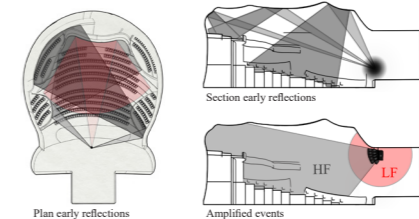


The Theatre Hall
Reverberation Time and Strength
The reverberation time, t_{60} , is defined as the time it takes for the sound power to be reduced by -60 dB below the original level. As the theatre hall will be mostly used for speech and singing performances, the reverberation time obviously plays a crucial role. The ability to understand speech requires a fairly low reverberation time, usually below 1 second. In the figure below, an estimate of the reverberation time in the theatre hall is shown in 3rd octave bands. The estimate is based on absorption coefficients from an audience of 700 people on moderately upholstered chairs and a wooden floor. The walls and ceiling is timber covered with absorbers with a total area of 60 m². The estimated strength (loudness) is shown as a function of frequency in right figure. The strength is dependant on the reverberation time and is quite high in the low frequency region. This can be adjusted with the variable Helmholtz absorbers.

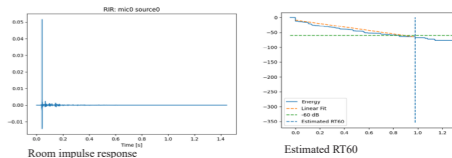
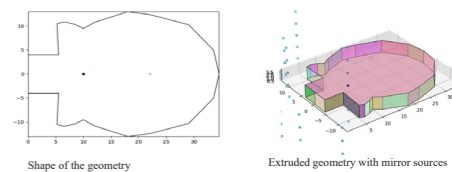


Variable Acoustics
Most modern theatres should have the ability to adjust certain acoustic properties such as reverberation time or the tuning of the absorbers. The reverberation time can be increased by either increasing the volume of the hall or decreasing the absorption area. In fact, the biggest contributor to the absorption in the hall is the audience! So if there is less people, the reverberation time will increase which would be inconvenient. To justify this, variable Helmholtz absorbers is added on the walls in the theatre hall.

Early Reflections and Electroacoustics
The shape of the ceiling has a great importance when it comes to distributing the sound evenly in the theatre. The audience should be able to hear the sound from the performers in all seating areas. In the illustration below the early reflections is shown. In occasions where the natural sound level is not sufficient, loudspeakers can be lowered from the stage.



Simulation
A more accurate simulation of the acoustics in the theatre hall was made by tracing the geometry of the hall with points along the borders of the room. By placing an artificial source at the stage and a microphone in the audience, the position of n -order mirror sources could be calculated. From this, the room impulse response and hence the reverberation time could be estimated to approximately 0.97 s. Materials are applied to the shape as before. The benefit with this approach is that one could even listen to how the room would respond to different sounds in the theatre.



Clarity and Initial Time Delay Gap
Clarity is the ability to distinguish individual sounds from each other. The theatre hall has a high preferred clarity value such that lyrics is clearly audible. However, some musicians prefer a lower clarity value to smear out the sound in the room. This is justified by the variable acoustics. The clarity can then be adjusted to the performers preferences. The initial time delay gap (ITDG) is the difference in time between the direct sound and the first reflection. The ITDG has an influence on the clarity. The estimated ITDG in the main hall is in the range between 9.2 ms to 17.6 ms and keeps the clarity nice and high.