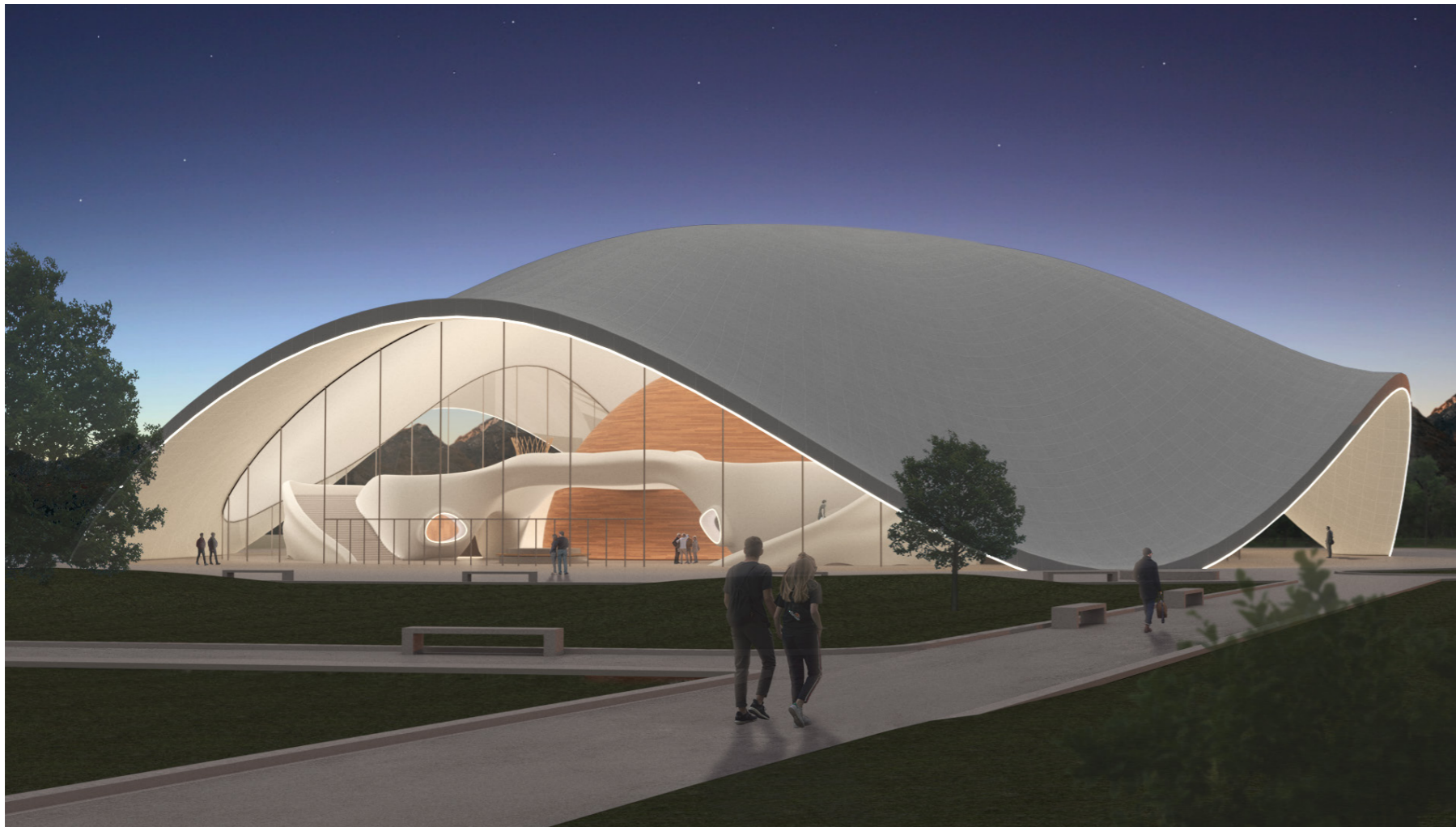


# THE WAVE

Kurs: Kandidatarbete i Arkitektur och Teknik

VT21

I Grupp med Karl-Hector Robertsson och Felicitas Bederna



## Kursbeskrivning

Detta är det sista projektet som görs på kandidatprogrammet Arkitektur och Teknik. Projektbeskrivningen för våren 2021 var att rita en konserthall, främst för opera, på ett godtyckligt universitet. Projektet var en del av en studenttävling där byggnadens akustik var av högt intresse. Därför genomfördes arbetet tillsammans med en student från masterprogrammet Sound and Vibration. Akustikstudenten hjälpte till med beräkningar av bland annat buller och konserthallens akustiska kvaliteter. Studenten fungerade även som ett stöd under utformningen av byggnaden, där råd gavs kring vad som var goda beslut ur ett akustiskt perspektiv. Några viktiga delar i projektet var att samarbeta mellan olika fakulteter samt att integrera akustiska element.

# PRESENTATION

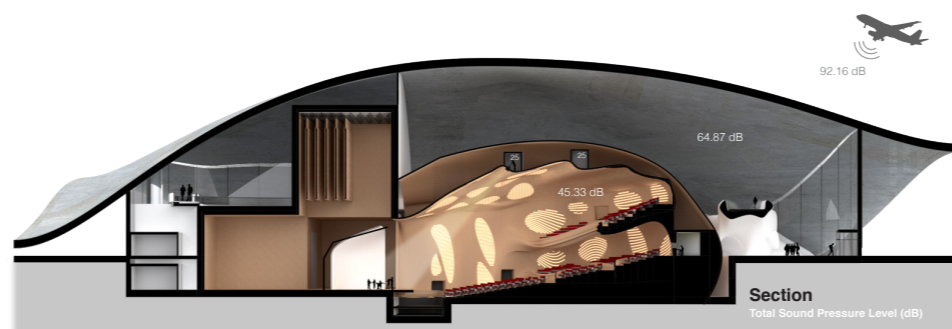
Följande bilder är de planscher vi presenterade under kritikdagarna. Dessa har omarbetats sedan inlämning, främst textstorlek samt har vissa texter skrivits om. Detta för att möta tävlingens krav då vårt projekt blev utvalt till att delta i tävlingen.



## Sound Insulation

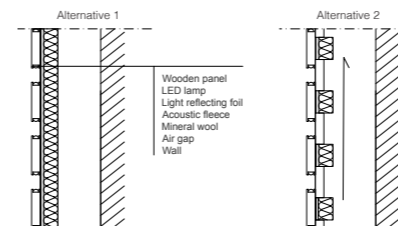
The shape of the shell will be supportive for the sound insulation, as the overhang of the shell above the window fronts avoids a parallel sound incidence of the maximum aircraft level and therefore a possible high sound transmission. In addition, the entire building is slightly recessed into the ground, so that less surface area is exposed to direct sound. The noise criterion curves NCB-15, NC-20 and NC-40 are used as criteria for the most sensitive rooms in the building. An average weighted reduction index of  $R_w=43.3$  dB will be required for the corresponding sound reduction of the outer shell and the window fronts. This will be achieved with a double wall made of concrete and double glass windows. Considering additional noise in the lobby, a weighted reduction index of  $R_w = 38.5$  dB is required for the walls of the rehearsal room, which is achieved with a simple concrete wall.

The concert hall will be shielded by another double concrete wall, which will have a reduction index of 40 dB. All walls will have a resonance frequency below 50 Hz to avoid strong transmission in the important frequency range.



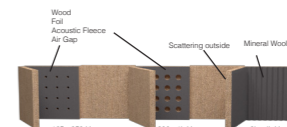
## Slit Absorber

The slit absorber will be used in the concert hall and the lobby. The structure functions as a Helmholtz absorber and can be designed to absorb the desired frequency range. The frequency with the greatest absorption can be increased by reducing the thickness of the wooden layer, by increasing the width of the slits, by reducing the distance between the slits and by decreasing the air gap in front of the wall. For the concert hall, an adapted version of the slit absorber will be used, where the layers of absorbent material behind the slits is interrupted by sections of wood. This layer will be moved to open or close the absorber as needed. When the absorber is closed, it will act as a scatterer due to the different dimensions of the slits and the thicknesses of the wooden layers. In the concert hall, these absorbers will mainly be placed in the concave areas of the walls and the ceiling to avoid bundling the sound and in areas where a strong reflection of the sound is not desired. Depending on the type of application of the concert hall, certain absorber areas will be opened or closed in order to adjust the reverberation time.



## Rehearsal Room

The rehearsal room is where the students will practice their instruments. This is also an opportunity to learn and experiment with different acoustic parameters. Therefore, we have designed foldable panels, which acts as absorbers when opened and reflectors when closed. The panels are designed to absorb different frequencies, by making bigger holes and smaller air gap the panels absorb different frequencies. By manually open and close different panels the students can experiment and play in different soundscapes.



Dimension of the room 20 x 15 x 4.5 m

## The Concert Hall

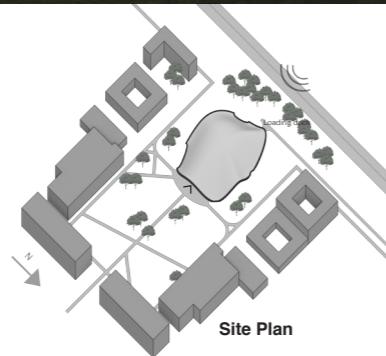
The auditorium is shaped to create the perfect soundscape for different acts. This due to the way the walls and ceiling are formed, which reflects sound perfectly to every seat in the hall. The slit absorbers that can be adjusted to affect the reverberation time. The orchestra pit is 105 square meters which fits an orchestra of 70 members. Using the pit lift we can arrange the seats so it has a capacity of 1254 people.

## Concept

Imagine walking around the campus, your eyes will be drawn to the big concrete shell located in an open area of the university. You notice that a lot of people are gathered inside and around it. When walking up to it you realise that it's much more than a shell, this is the connection point of the university. With its library, restaurant, concert hall and other open areas this is the place where students gather. The Wave is designed to take its visitors on an acoustical journey. The shape of the protective concrete shell creates different ceiling heights which generates different spaciousness and affects the soundscape depending on where you stand. The floorplan creates an ability to stroll around the building and discovering new angles of it. You can also take the way through the acoustic tunnels, where the different reverberation times offers an interesting experience.

## Room Layout

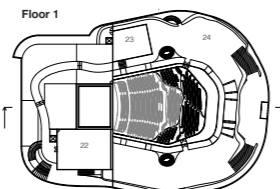
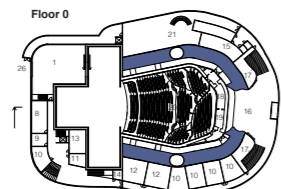
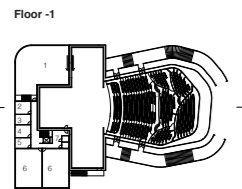
The floor plan is well thought out with noise and the relation between different rooms taken in large consideration. With the more noise generating rooms located towards the highway, it creates a natural blocking for the more sensitive rooms. It's also created to generate a great flow for both visitors and students or personnel. With an open plan, you can discover every angle of the building and use the building in different ways.



- 1 Scene Shop (330 m<sup>2</sup>)
- 2 Audio Storage and Repair Room (27 m<sup>2</sup>)
- 3 Audio Rack Room (22 m<sup>2</sup>)
- 4 Lighting Storage and Repair Room (27 m<sup>2</sup>)
- 5 Dimmer Room (22 m<sup>2</sup>)
- 6 Mechanical Equipment Room (142 m<sup>2</sup> per room)
- 7 Off-stage Quick Toilet (5.5 m<sup>2</sup> per room)
- 8 Costume Shop (70 m<sup>2</sup>)
- 9 Wig and Make Up (27 m<sup>2</sup>)

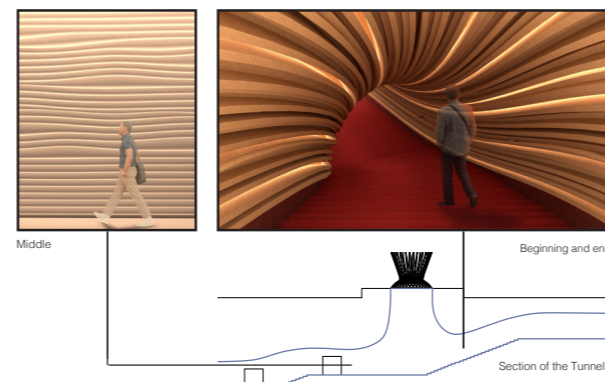
- 10 Solo Dressing Room (56 m<sup>2</sup> per room)
- 11 Conductors Dressing Room (27 m<sup>2</sup>)
- 12 Chorus Dressing Room (77 m<sup>2</sup> per room)
- 13 Green Room (54 m<sup>2</sup>)
- 14 Prop Pantry (12 m<sup>2</sup>)
- 15 Front of House Public Restroom (80 / 60 / 5.5 m<sup>2</sup>)
- 16 Lobby (340 m<sup>2</sup>)
- 17 Ticket house / Wardrobe (55 m<sup>2</sup> per room)
- 18 Lighting and Stage Manager Control Room (27 m<sup>2</sup>)

- 19 Projection / Title Booth (22 m<sup>2</sup>)
- 20 In-house Audio Mix Position
- 21 Library (400 m<sup>2</sup>)
- 22 Rehearsal and Warm-up Room (300 m<sup>2</sup>)
- 23 Kitchen (155 m<sup>2</sup>)
- 24 Restaurant/Café Area (480 m<sup>2</sup>)
- 25 Follow Spot Booth (11 m<sup>2</sup> per room) (Section)
- 26 Loading dock

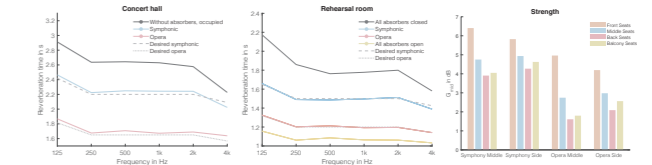
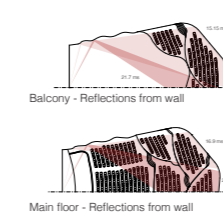


## Acoustic Tunnel

The tunnel is designed to have different reverberation times in different areas. It reaches from the lobby to the end of the concert hall, which makes it the pathway to inside of the hall. In the beginning and end of the tunnel, the walls are covered with slit absorbers and a carpeted floor. In the middle it opens towards the ceiling which increases the volume, here the walls and floor is made of concrete, the walls are also covered in scattering panels. This design will create high differences in reverberation times, with a low of  $T_{500Hz} = 0.3$  s and a high of  $T_{500Hz} = 1.5$  s. This contributes to the acoustic and spatial adventure of The Shell.



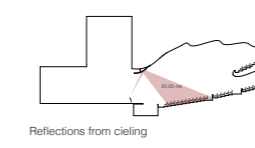
## Early Reflections



## ITDG

The initial time delay gaps will be in the range between 15 ms and 24.3 ms, providing a good clarity and hall intimacy for all seats. The reflections for the first section of seats will be provided by a reflector attached to the ceiling. The back half of the hall will be provided by reflections from the side walls, where the first reflector will supply the seats close to the side walls. The middle of the hall will get reflections created by the second reflector in

the wall. The height of the side reflector will be adjusted to ensure reflections only to the back half of the hall. The average strength,  $G$ , for the frequencies of 500 Hz and 1 kHz will lie in the range of 4 dB to 6.4 dB if the hall is adjusted to symphonic music and in the range between 1.6 dB and 5 dB for opera.



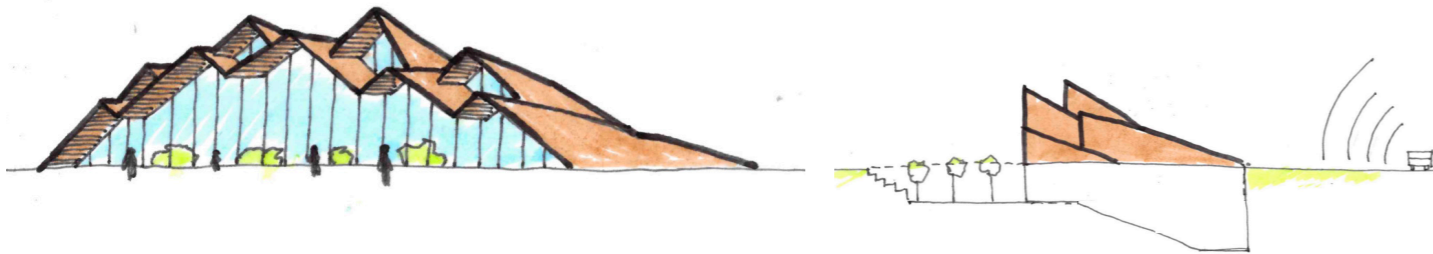
# PROCESS

Projektet var uppdelat i olika uppgifter. Där första uppgiften var att hitta olika områden i Göteborg med olika egenskaper, däribland dem mikroklimat, ljud och ljus. Detta hjälpte oss att ha dessa kvaliteter i åtanke under kommande delar av projektet.

Efter detta skulle vi utveckla olika koncept för hur en konserthall skulle kunna se ut, där blockeringen av buller var en stor del. Vi kom då fram till tre olika koncept.

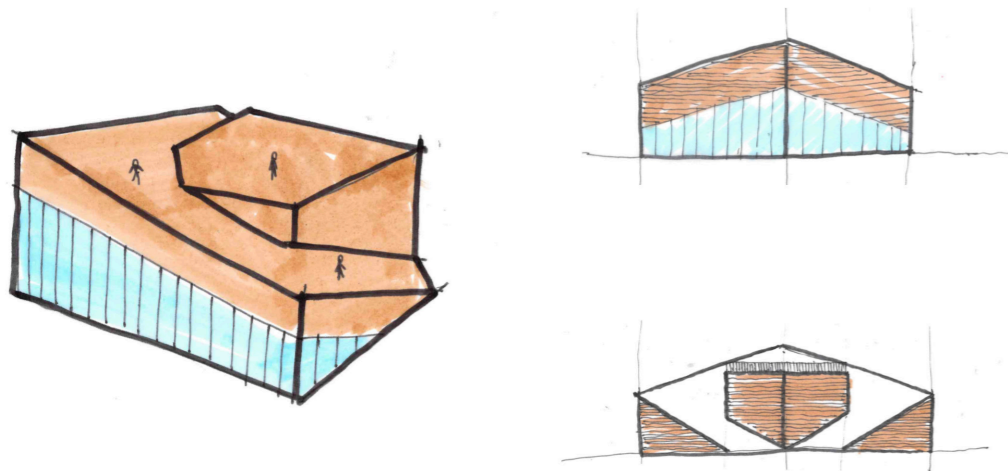
## Spetsbergen

Ett koncept med helt nedgrävd hall. Takets form och lutning var menat att fungera som en skyddande vägg mot bullret från vägen, och på så vis skydda platsen framför huset från buller.



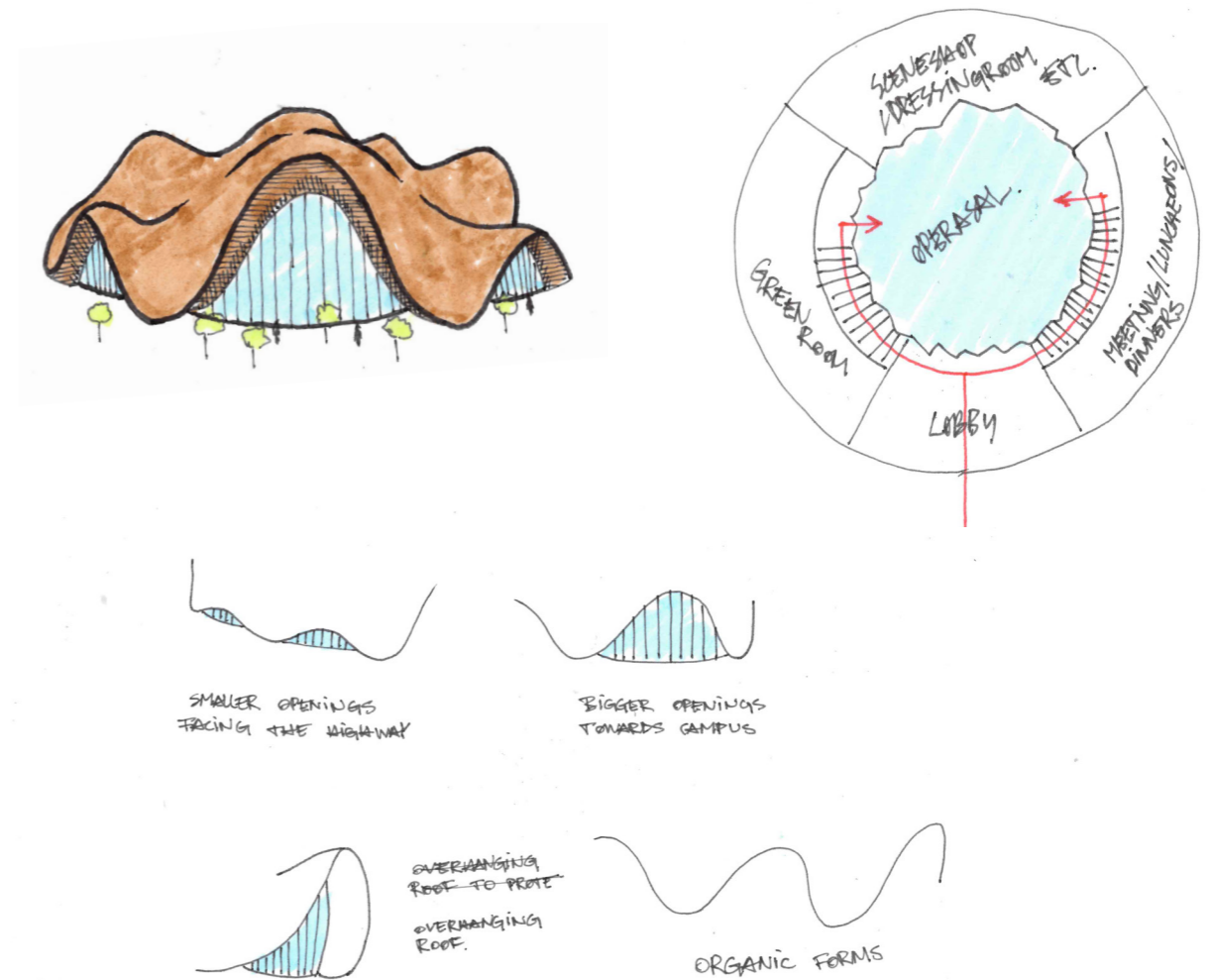
## Diamanten

Ett koncept med delvis nedgrävd hall. Taket skulle bidra till att göra byggnaden en central del av skolan. Här ville vi också utveckla någon form av absorberande väggar som skulle skydda hallen från buller.



## Snäckan

Ett stort skyddande betongskal med hallen placerad i mitten. Här skyddas även hallen från buller genom att placera de ljudproducerande funktionerna mot vägen.



## Val av koncept

Tillsammans med akustikern, Felicitas, valde vi vilket av de tre koncepten vi skulle arbeta vidare med. Valet föll på det koncept som då kallades Snäckan.

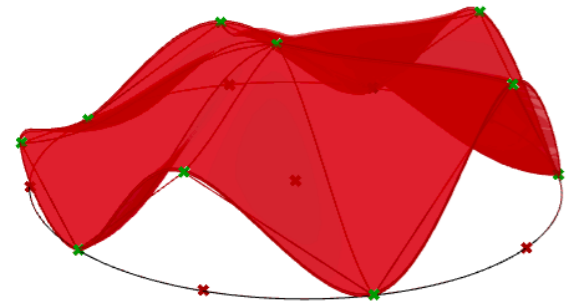
Snäckan var det koncept vi kände oss mest entusiastiska över. Dels för att det möjligtvis var det akustiskt sett starkaste konceptet, men också för att det var en typ av byggnad varken jag eller Karl-Hector hade arbetat med tidigare. De projekt jag gjort tidigare under utbildningen har inte haft det formspråk som detta koncept hade. Med nya kunskaper inom parametrisk design var detta ett koncept som vi nu kunde ge ett gott slutresultat, vilket vi tidigare i utbildningen kanske inte hade kunnat. Därav var Snäckan det mest intressanta och givande konceptet att arbeta vidare med.

# RESULTAT

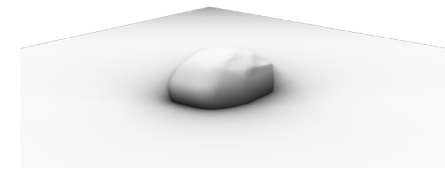
## Skalet

Kärnan av vårt koncept var att ha ett stort skyddande skal som skulle täcka byggnadens inre delar. För att skapa detta gjorde vi ett Grasshopper-script med olika parametrar så vi helt kunde styra utformningen av detta. Betongskalet blev den största bidragande faktorn till vårt resultat.

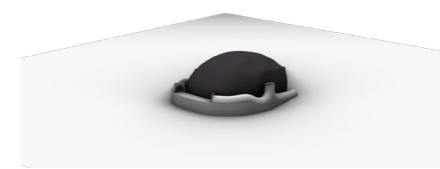
Fördelen med denna konstruktion är att skalet effektivt stänger ute bullret från flygplanen. Detta genom skalets utformning, då ingen yta är helt rät reflekteras ljudet åt olika håll och på så vis sprider bort bullret. Betongskalet går också ut långt över byggnadens glasväggar, vilket hindrar parallella ljudvågor att ta sig in i byggnaden samtidigt som de skapar spännande rum runt om byggnaden. De olika takhöjderna förändrar samtidigt ljudrummet beroende på var i byggnaden du befinner dig, ett koncept som var med tidigt i processen.



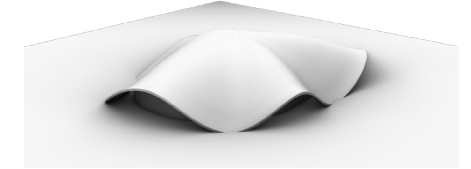
Tidig bild av skalets utformning. De olika parametrarna styrde bland annat öppningarnas placering och höjd.



Centralt placerad konserthall



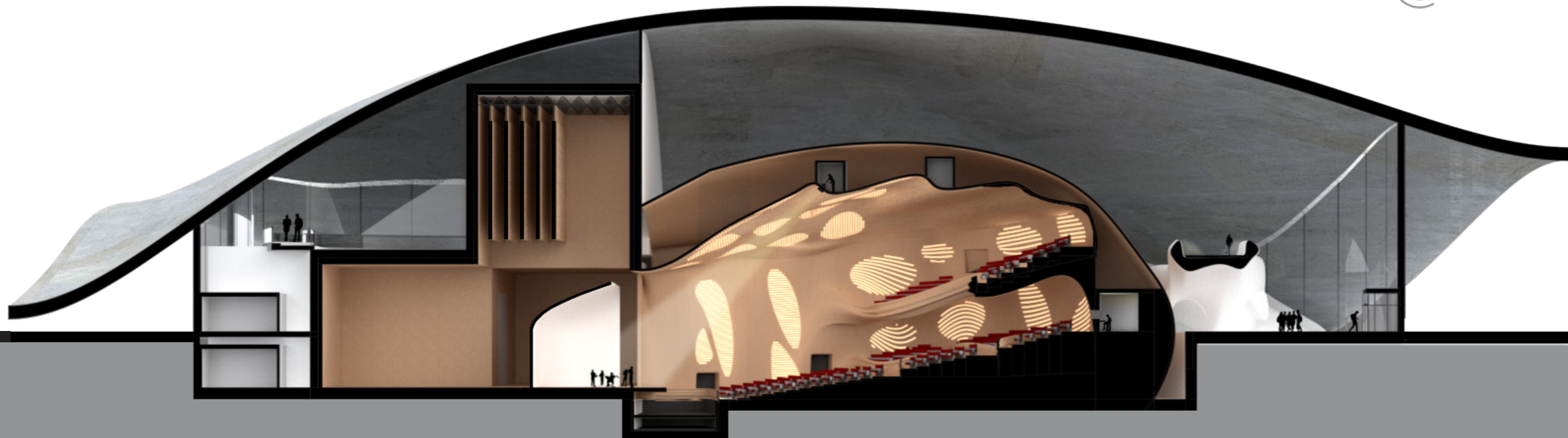
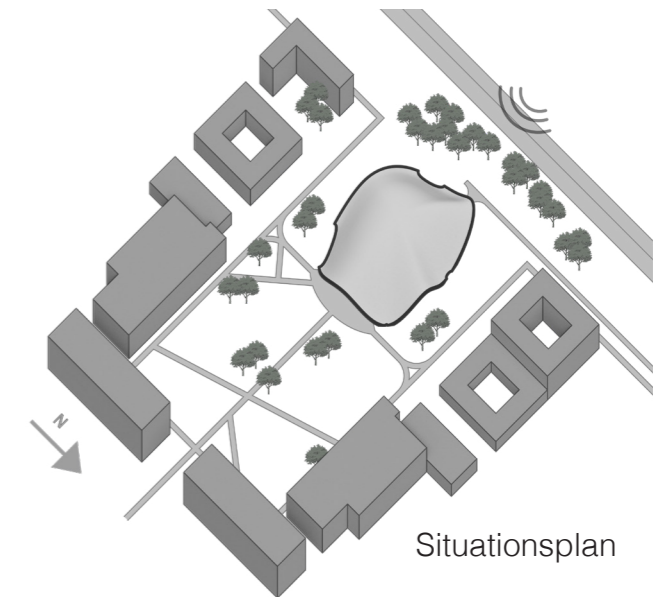
Akustiska tunnlar



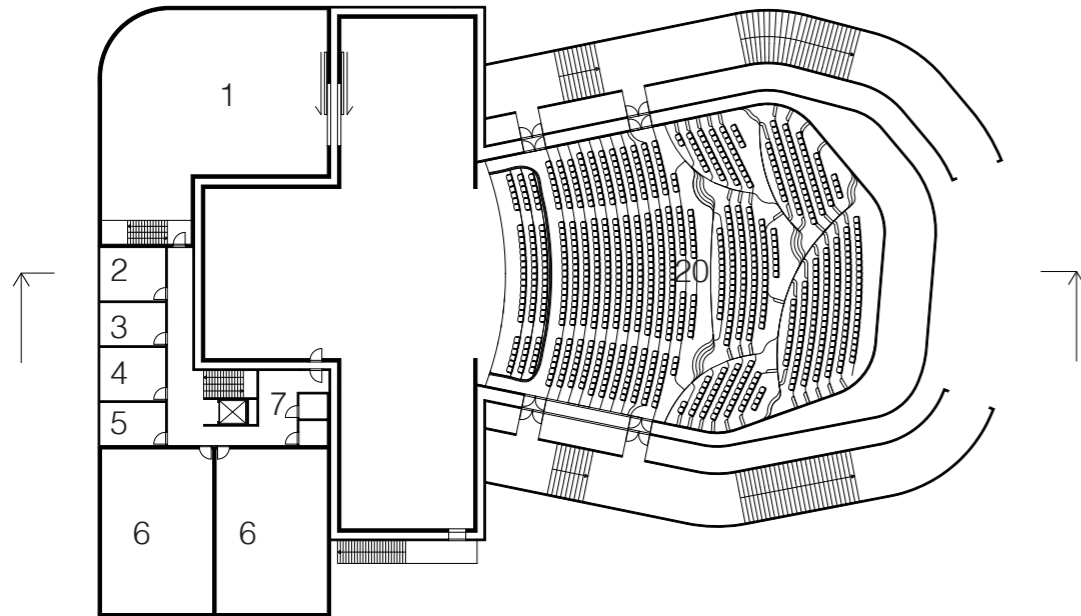
Skyddande skal

## Placering

Konserthallen är placerad på en central del av campus och är menat att vara en mötesplats för studenterna. Med en närliggande park och byggnadens många funktioner skapas en naturlig mötesplats.



## Plan -1



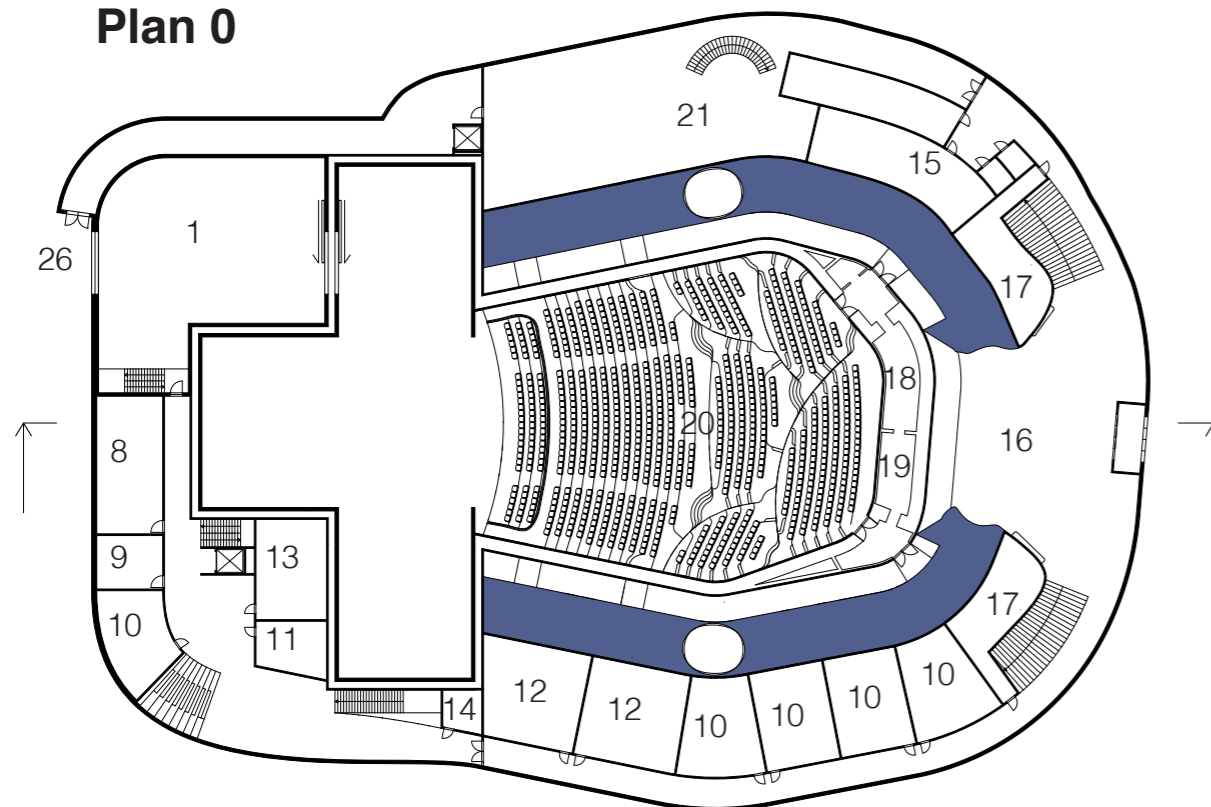
- 1 Scene Shop (330 m<sup>2</sup>)
- 2 Audio Storage and Repair Room (27 m<sup>2</sup>)
- 3 Audio Rack Room (22 m<sup>2</sup>)
- 4 Lighting Storage and Repair Room (27 m<sup>2</sup>)
- 5 Dimmer Room (22 m<sup>2</sup>)
- 6 Mechanical Equipment Room (142 m<sup>2</sup> per room)
- 7 Off-stage Quick Toilet (5.5 m<sup>2</sup> per room)
- 8 Costume Shop (70 m<sup>2</sup>)
- 9 Wig and Make Up (27 m<sup>2</sup>)
- 10 Solo Dressing Room (56 m<sup>2</sup> per room)
- 11 Conductors Dressing Room (27 m<sup>2</sup>)
- 12 Chorus Dressing Room (77 m<sup>2</sup> per room)
- 13 Green Room (54 m<sup>2</sup>)
- 14 Prop Pantry (12 m<sup>2</sup>)
- 15 Front of House Public Restroom (80 / 60 / 5.5 m<sup>2</sup>)
- 16 Lobby (340 m<sup>2</sup>)
- 17 Ticket house / Wardrobe (55 m<sup>2</sup> per room)
- 18 Lighting and Stage Manager Control Room (27 m<sup>2</sup>)
- 19 Projection / Title Booth (22 m<sup>2</sup>)
- 20 In-house Audio Mix Position
- 21 Library (400 m<sup>2</sup>)
- 22 Rehearsal and Warm-up Room (300 m<sup>2</sup>)
- 23 Kitchen (155 m<sup>2</sup>)
- 24 Restaurant/Café Area (480 m<sup>2</sup>)
- 25 Follow Spot Booth (11 m<sup>2</sup> per room) (Section)
- 26 Loading dock

## Planlösning

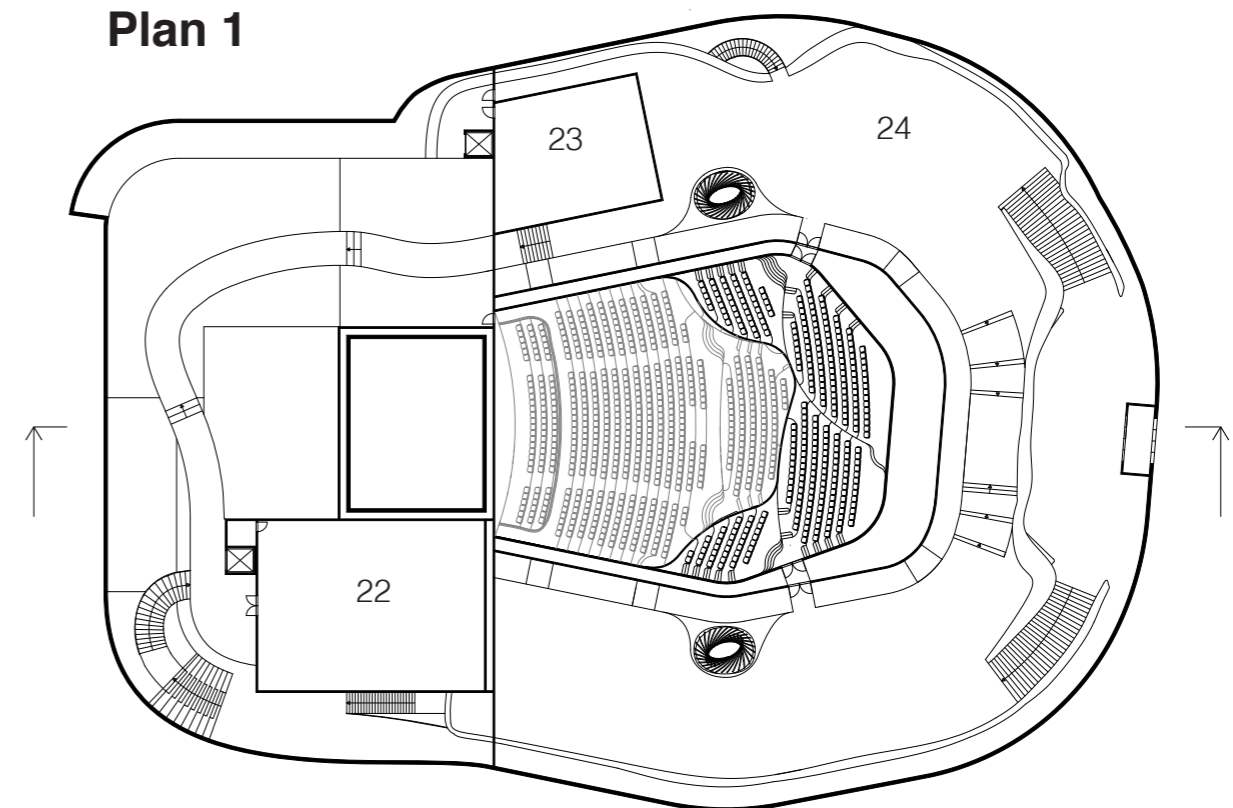
Byggnadens planlösning är utformad med konserthallen placerad i mitten. Det yttre skalet gav en generös takhöjd, vilket gjorde det naturligt att arbeta i flera olika nivåer. Det viktigaste för oss var att skapa en byggnad där besökaren kan röra sig fritt och uppleva varje hörn av huset. Detta gjordes genom att placera trappor och broar på olika ställen för att ge möjlighet att röra sig på olika nivåer i byggnaden. Ett tydligt mål var också att göra konserthuset till en central del av skolområdet, vilket möjligheten till en fri rörelse och byggnadens olika funktioner bidrar till.

I byggnadens främre del har vi placerat entrén, från denna kan du nå alla delar av huset. Vid framträdanden är det möjligt att stänga av gången mot omklädningsrummen så denna del blir privat för de som skall uppträda. Bakom scenen finns de rum som kan skapa ljud, detta bildar även en naturlig barriär för bullret från vägen. Eftersom vi arbetade i flera plan kunde vi även lägga till fler rum utöver programkravet, bland annat en restaurang och ett bibliotek. Biblioteket är placerat intill konserthallen eftersom ljudnivån här kommer att vara låg och på så vis inte påverka ljudet inne i hallen.

## Plan 0

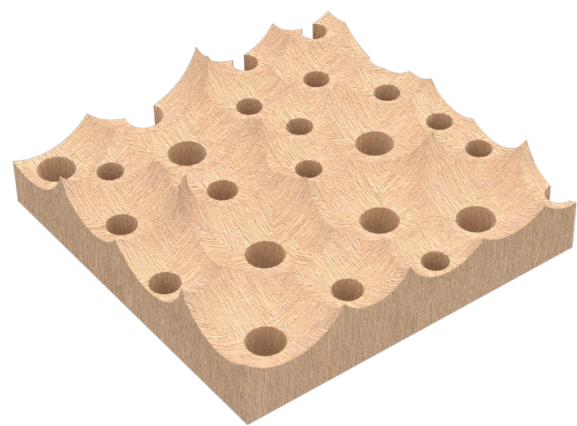


## Plan 1



# AKUSTISKA PROTOTYPER

En stor del av projektet var att utveckla akustiska prototyper. Prototyperna skulle ha flera funktioner och påverka det akustiska rummet. Vi hade tre huvudsakliga prototyper. Scatteringlampan uteblev från det färdiga projektet, men är något som kan användas i hallen.



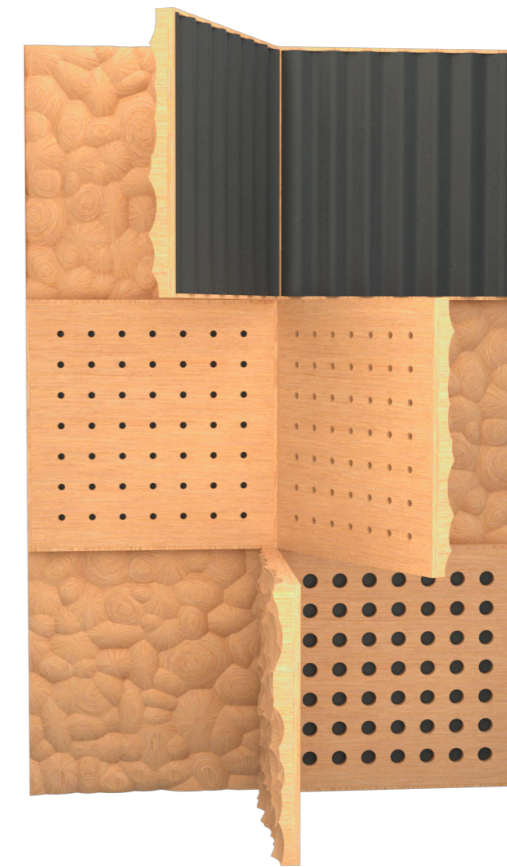
## Scatteringlampa

En prototyp utformad för att sprida ljudet och undvika fokuspunkter, i prototypen har vi även valt att integrera lampor för att skapa en vägg liknande en stjärnhimmel.

## Vikbara paneler

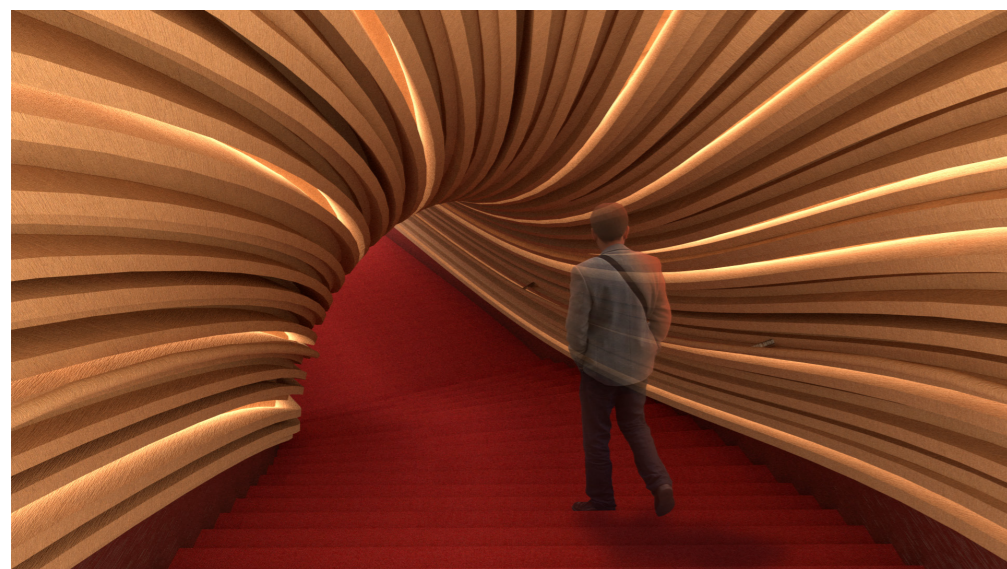
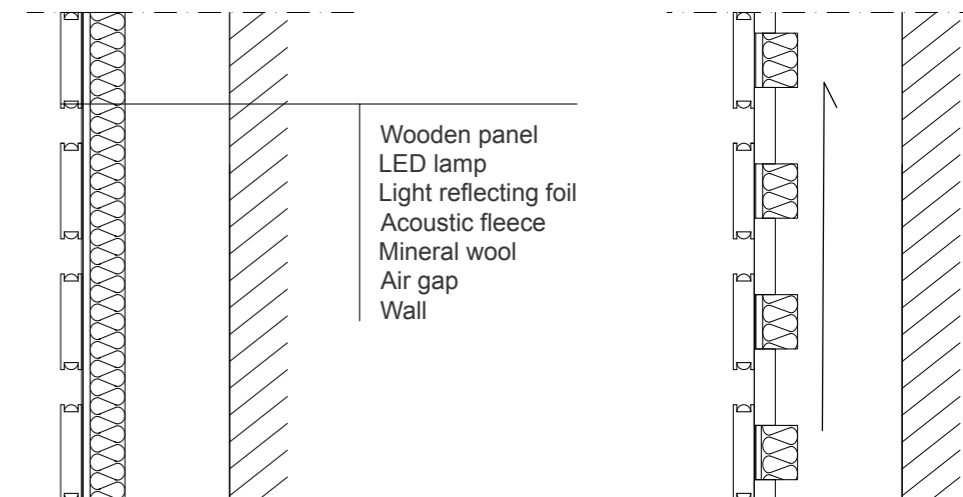
Denna prototyp används i byggnadens repetitionsrum. Panelerna är konstruerade för att kunna absorbera olika frekvenser när de är öppna, och sprida ljudet när de är stängda. Detta görs genom att använda Helmholtz - resonatorer i olika storlekar på de olika panelerna. Vilket i sin tur utgör att vi skapar ett rum där efterklangstiden kan variera mellan ungefär 1.1 och 2 sekunder.

Syftet med denna prototyp var att göra repetitionsrummet till ett högst variabelt rum. Där studenterna kan utforska olika efterklangstider, genom att själva öppna och stänga dessa paneler och på så vis även lära sig mer om akustik och hur det påverkar den spelade musiken.



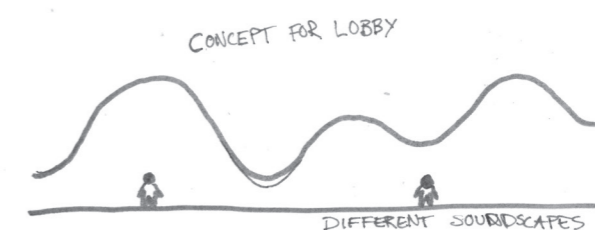
## Slitsabsorbent

Den prototyp vi använder mest i byggnaden är slitsabsorbenten, detta eftersom den är lätt applicerbar på flera olika ställen. Prototypen är till stor del byggd av trä och ljudabsorberande mineralull, vi valde även att integrera belysning vilket skapar en vacker ljuskälla. Denna prototyp är också variabel, genom att flytta det bakre partiet täcks mineralullen av trä, och den sprider ljud istället för att absorbera. Eftersom slitsabsorbenten kan justeras för att absorbera olika frekvenser blev den väldigt användbar under projektets gång. Vi valde att använda denna i hallen, för att kunna justera efterklangstiden. Den mest utmärkande användningen av slitsabsorbenten är i de akustiska tunnarna som ligger längs med hallens utsida.



## Akustisk tunnel

En tidig idé var att skapa ett rum där efterklangstiden varierade beroende på var i rummet du befinner dig. Detta resulterade i akustiska tunnlar som lades längs med hallen. I dessa placerade vi slitsabsorbenter i dess början och slut för att få en kort efterklangstid. I tunnlaras mitt har vi istället använt hårt material och öppnat upp mot taket, vilket kommer ge en väldigt lång efterklangstid.



Tidig skiss av vad som sedan blev den akustiska tunneln.

# HALLEN

Mycket tid ägnades åt hallen, detta eftersom flera olika aspekter var tvungna att tas i beaktning. Främst var det akustiken som stod i fokus, genom att applicera våra akustiska prototyper och utforma tak och väggar efter hur vi ville att ljudet skulle reflekteras, fick vi få slutliga form. Samtidigt var det viktigt att arbeta med siktlinjer, antal platser och hallens volym samt ytornas areor.

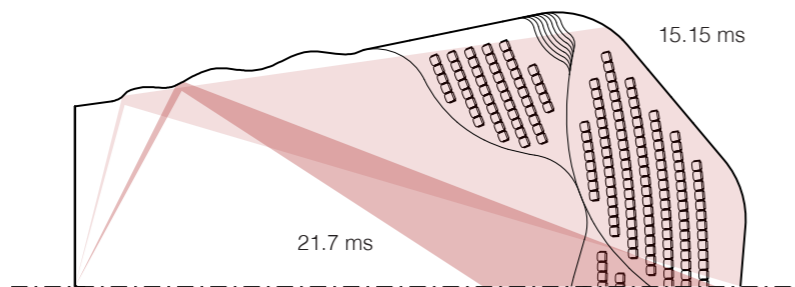
Med alla funktioner och krav i åtanke blev vår hall slutligen en konserthall som speglar byggnadens yttre. Med dess mjuka former följer hallen formspråket av det yttre skalet.

Eftersom detta var en högst komplex uppgift föll vissa idéer bort under arbetets gång. Tidigt hade vi visioner om att ha en scen placerad i mitten av hallen, vilket blev svårt att lösa då det främst skulle vara operaframträdanden. Vi hade även tankar om hur vi skulle integrera ventilation i hallen, vilket också det föll bort på grund av tidsbrist.

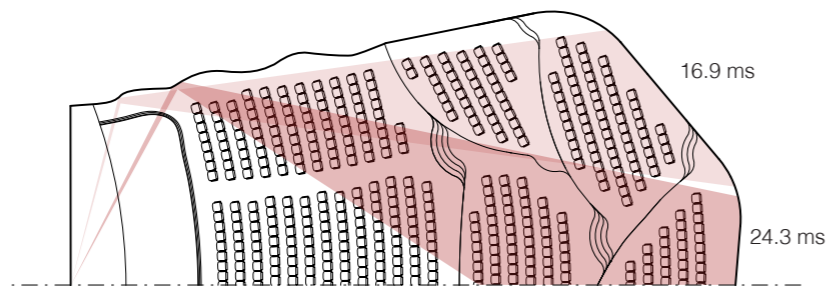


## Akustiska värden

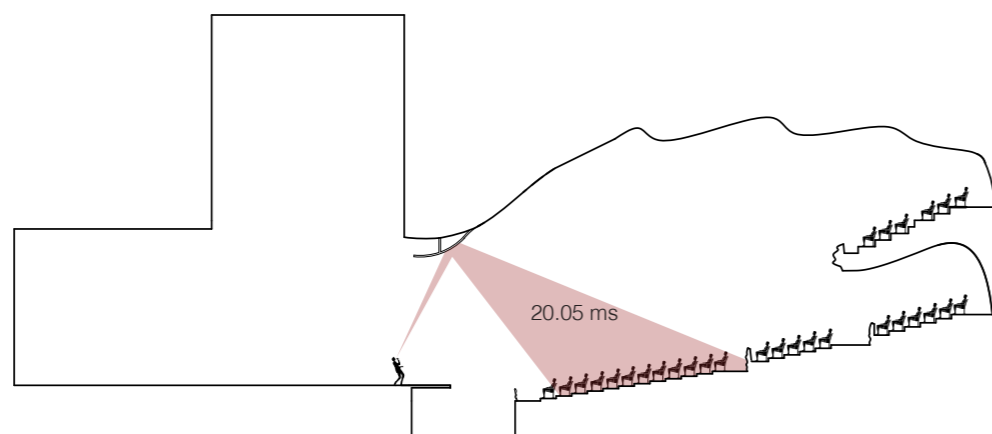
Följande bilder visar vilka akustiska parametrar hallen kommer att ha. Dessa har beräknats av vår akustiker Felicitas. Här går det också att se hur effektiva våra olika prototyper är beroende på om de är öppna eller stängda. Vi kan också utläsa att hallens utformning ger goda förutsättningar för ljudstyrka och första reflektioner.



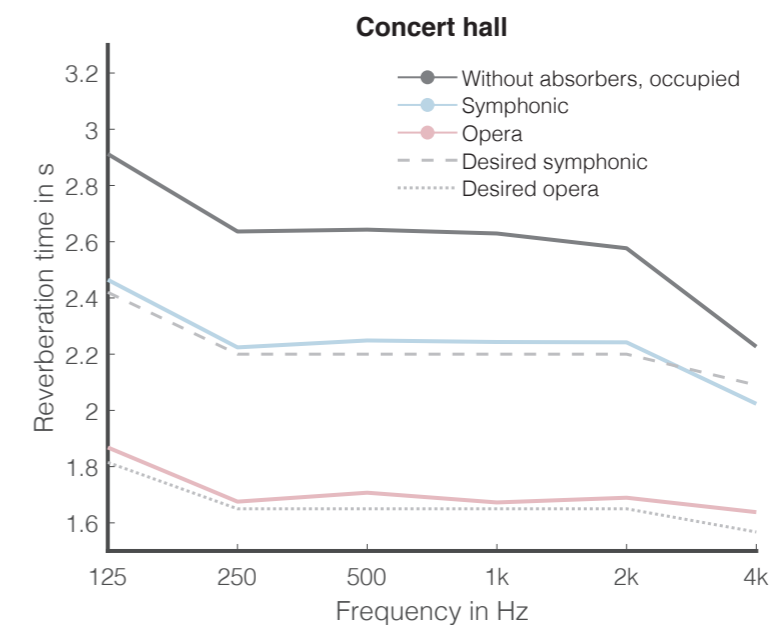
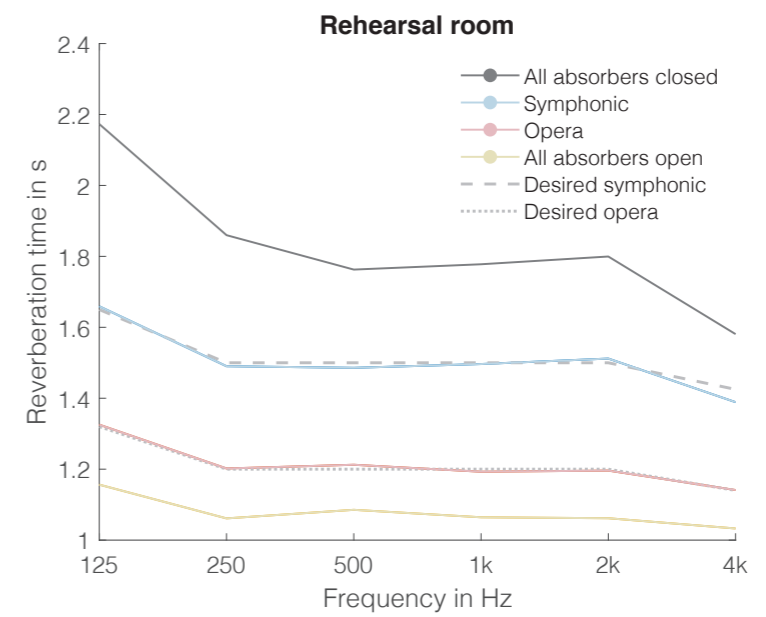
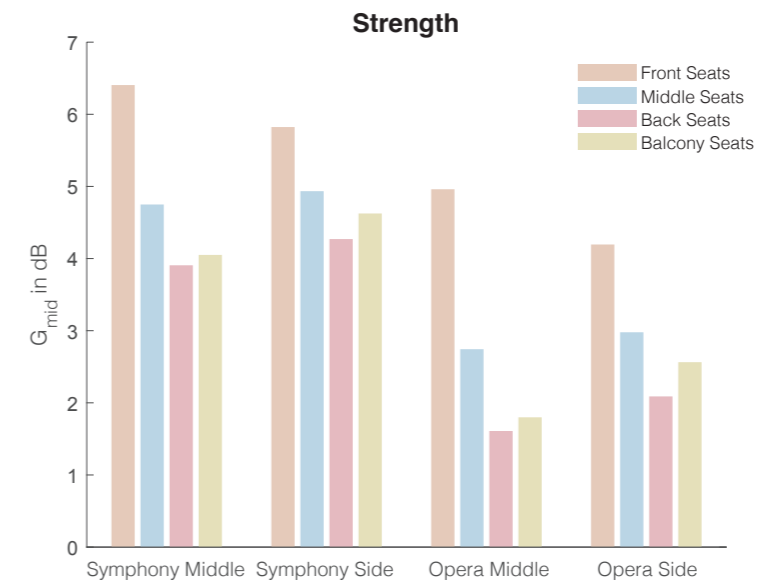
**Balkong - reflektioner från vägg**



**Golv - Reflektioner från vägg**



**Reflektioner från tak**



# REFLEKTION

Hela byggnadens design bestämdes av det yttre skalets utformning. Detta gav en viss begränsning till hur vi kunde utforma byggnadens planlösning, då vi i princip var bundna till en rund form. Jag tycker dock, nu i efterhand, att detta var något positivt. Vi ville tidigt i processen arbeta med runda och organiska former, att det yttre skalet var bestämt tidigt gjorde att vi var tvungna till att hålla oss till den idén.

En av uppgifterna var att arbeta fram prototyper som skulle ha flera olika funktioner. Jag tycker att de prototyper vi till slut skapade var välfungerande, och hade ett starkt koncept bakom. Vi hade också en tydlig bild för hur vi ville använda dem. Jag är nöjd över hur vi även klarade av att applicera dem på flera ställen i byggnaden, vilket gör förslaget mer enhetligt.

Att arbeta i grupp tillsammans med en student med annan akademisk bakgrund har varit roligt, givande och krävande. Under utbildningen har man ofta kommit på idéer som börjat som något ouppnåeligt, men som sedan konkretiserats till något som skulle kunna konstrueras. Vi började arbetet på samma vis även här, dock blev våra idéer ganska snabbt avvisade som icke-fungerande. Detta utgjorde en begränsning i det kreativa arbetet då diskussionerna ofta blev korta. Efter mycket arbete kom vi i slutändan fram till ett projekt där våra akustiska prototyper kanske är den starkaste delen, så vårt samarbete kanske var bättre än vad jag i början trodde. Hur man samarbetar med människor med olika bakgrund kommer jag ta med mig ut i arbetslivet, detta eftersom jag tror att det är en av de viktigaste lärdomarna från tre år på Arkitektur och Teknik.

Hade vi haft mer tid till projektet hade jag gärna arbetat vidare med betongskalet, utforma det på ett vis så att det är strukturellt hållbart. Som det ser ut nu har vi enbart utformat det på ett sätt vi tror kan fungera, hade varit spännande att göra en fullständig analys. Vi hade även kunnat lägga mer tid åt frågor som dagsljus och ventilation, detta är något som vi tänkte på men inte riktigt kom med i slutresultatet.

Projektet och kursen har varit givande på många vis och fungerat som en god avslutning på dessa tre år. Jag har kunnat applicera mina kunskaper som jag fått från tidigare kurser, på ett kreativt och utmanande sätt.

