

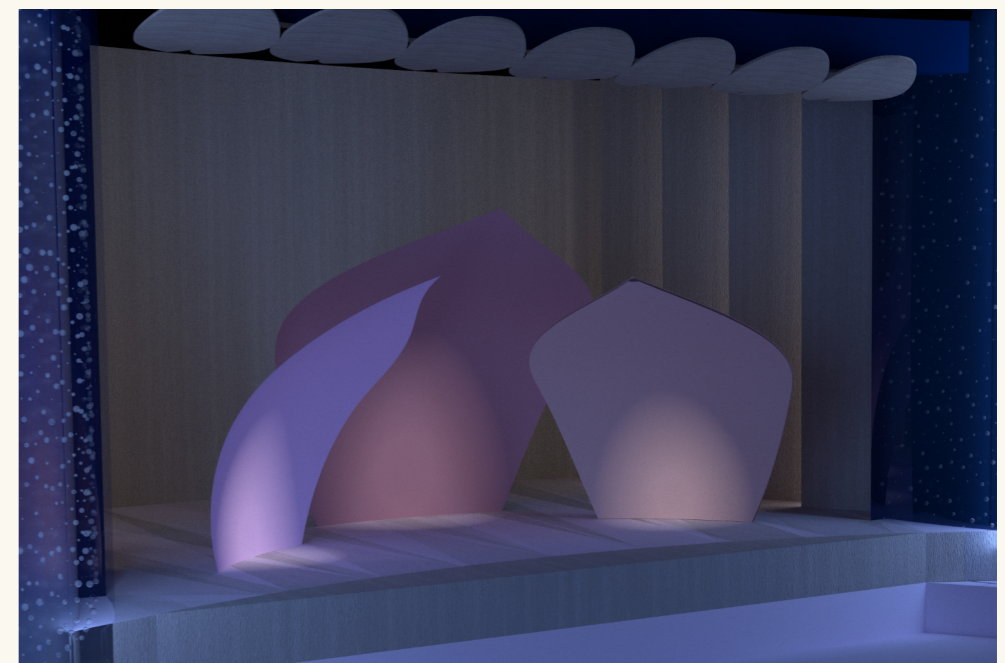
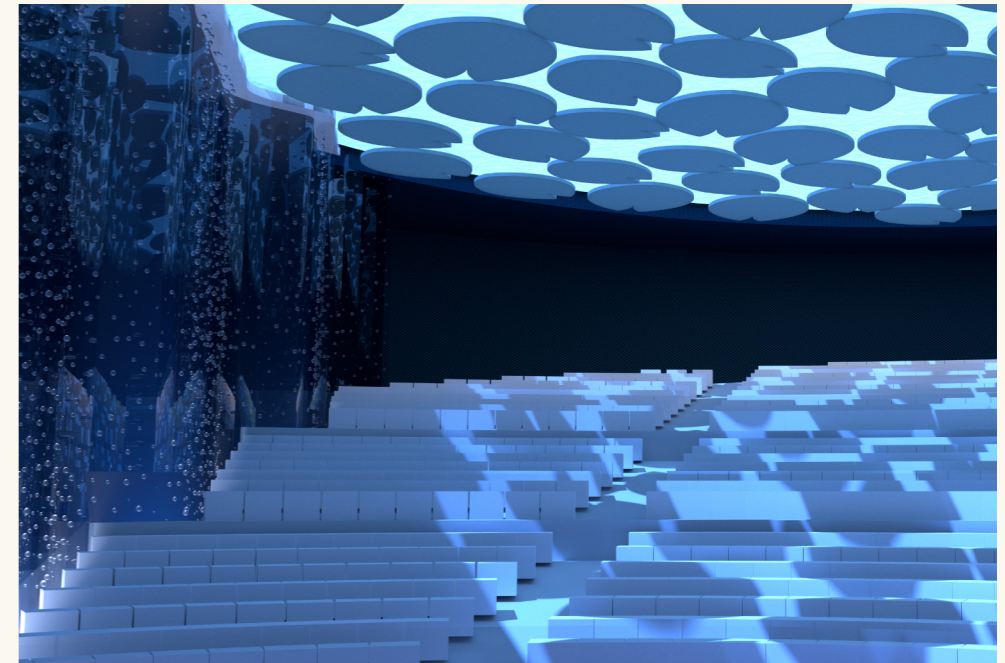
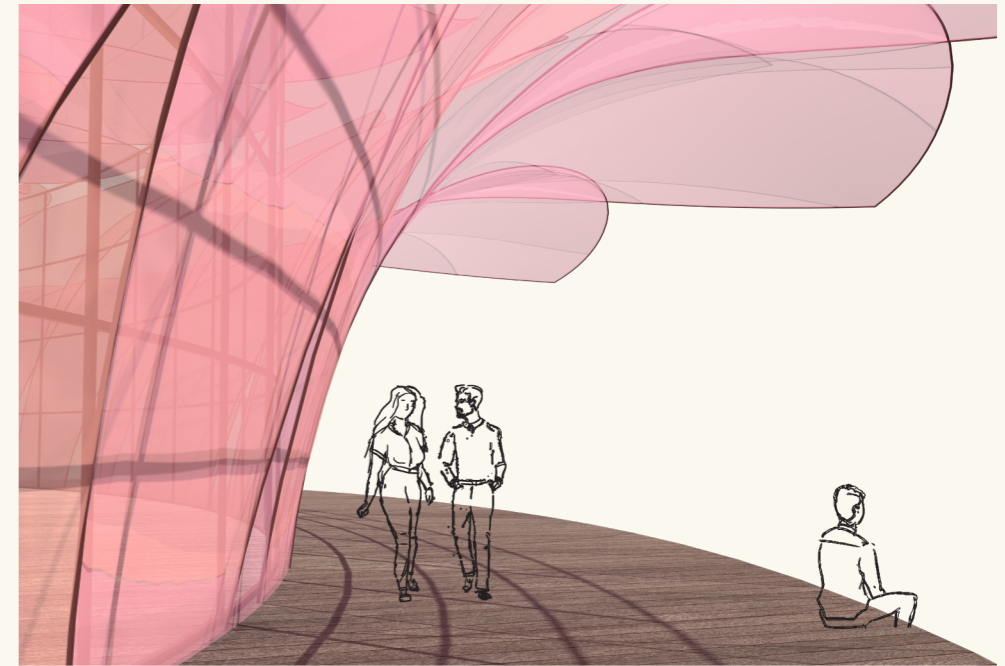
# The Water Lily

ACEX15 Kandidatarbete i Arkitektur och Teknik

## UPPGIFTEN

Ta fram ett förslag till en ny byggnad för en högskola med ett bra musikprogram. De ska kunna ha föreställningar för en publik på 1200 personer. Främst så ska det användas för skolans opera program, men det ska också fungera för symfoniorkester, kammarmusik, kör och dans. Byggnaden kommer ligga på en campus, med en motorväg 60 meter bort. Dessutom finns det en flygplats 5 km bort, så det kommer regelbundet passera flygplan ovanför.

I projektet sammanförs arkitektur och akustisk, och utförs i gruppen bestående både av tre AT-studenter och en masterstudent från Sound and vibration.



# Kursen:

## KURSEN

Traditionenligt var kandidatarbetet för Arkitektur och Teknik även detta året baserat på ASA:s tävling för studenter. Vi följde därmed deras tävlingsprogram för 2021. Den berörde en föreställningssal för ett medelstort campus. Tävligen kommer med specifikationer runt presentation och behandlar både arkitektur och akustik. Den utfördes i grupper med både AT studenter och en masterstudent från sound and vibration.

Till detta tillförde kursen också att vi skulle kolla på hur den låg på campus och närmiljön runt byggnaden. Det tillkom även olika moment som man skulle genomföras under projektets gång.

För akustiken skulle vi inte heller använda oss av datasimuleringar, utan mer göra beräkningar och använda andra sätt att bedöma akustiska kvaliteter

## PROGRAMMET I KORTHET

-Operasal, som ska kunna användas för symfoniorkester, kammarmusik, kör och dans (alltså behöver akustiken kunna ändras)

-1200 platser

-Scen (12x15 m) med vingar på minst (12x4,5 m)

-Orkestergrup för 70 personer

-Scene shop (ca 300 m<sup>2</sup>, tak höjd på 10,7 m) med entré kopplad till scenen, ska kunna användas samtidigt som repetition pågår

-Lobby, ska kunna användas för möten och middagar

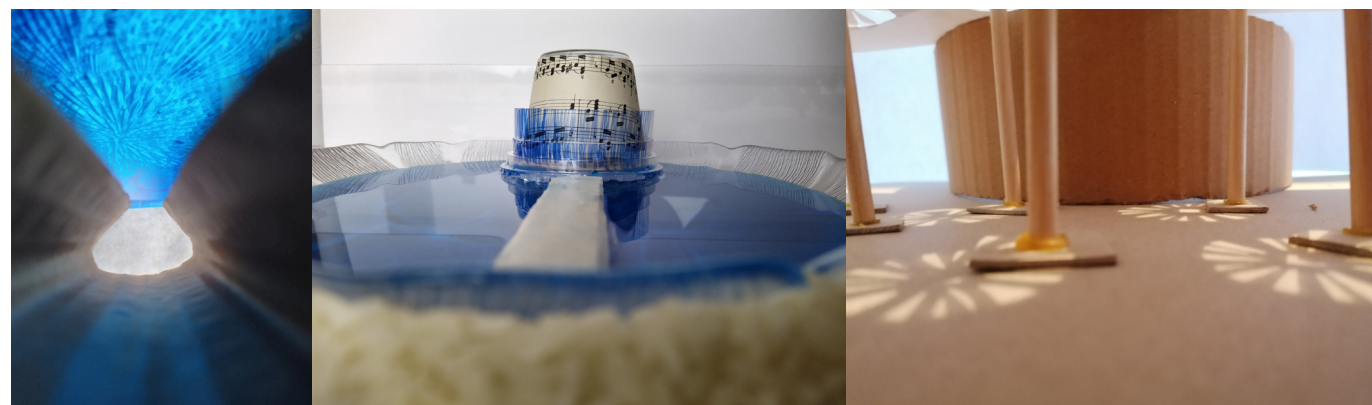
-Omklädningsrum

-Teknikrum

-Förvaringsutrymmen

-60 meter från en motorväg och 5 km från en flyplats

# Processen:



## TRE KONCEPT

Vi inledde projektet med att ta fram tre olika koncept. För oss var det "Into the woods", "the rabbit hole" och "The water lily".

Vi hade någon grund idé för hur dess olika koncepten skulle vara utformad och hur den skulle passa in i sin omgivning och hantera ljuden. Men det vi jobbade främst med upplevelsen och känslan vi ville att besökarna skulle ha. Vi pratade mycket om övergångar mellan olika delar av byggnaden och resan fram till salen.

**THE RABBIT HOLE:** Hör börjar resan i lobbyn som ligger i en öppen och ljusfylld byggnad över mark, därifrån leds man ner i gångar under marken, och delvis under vatten. Tillslut hamnar man i en underjordisk sal under en kulle.

**INTO THE WOODS:** Här ville vi ha en gradvis övergång från ute till inne. Där lobbyn gav känslan av att du rörde dig längre och längre in i en skog, där du tillslut går in i salen som känns nästan som att gå in en gammal trädstam.

Viktig del av detta konceptet var att jobba med ljuset, där naturligt solljus är närvarande men du är samtidigt skyddad från solstrålarna, på det sättet som du är när du promenerar i skogen.

**WATER LILY:** För denna ville vi göra något som låg på vattnet, vi föreställde oss ett campus som ligger vid en sjö eller vid kusten. Vi inspirerades av näckrosor och deras blad. Ville vi ha ett ställe där studenter kunde röra sig ute på vattnet, medans salen och lobbyn var mer skyddad och sluten, som en näckros. Vi ville ha en gardin av vatten som skiljer ute och inne och som dämpar ut ljudet av motorvägen.

Vi jobbade mycket med modeller för att få fram de känslor vi ville förmedla. Där själva modellerna var gjorda snabbt och med det vi hade tillgängligt hemma (corona-style)

Även när vi gick vidare med ett av koncepten tog vi med oss delar från alla tre koncept.

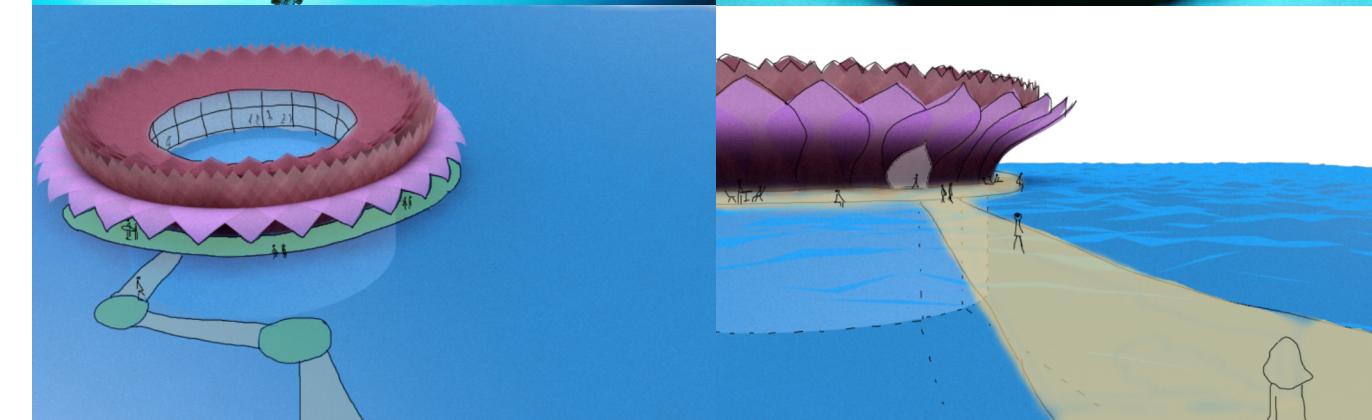
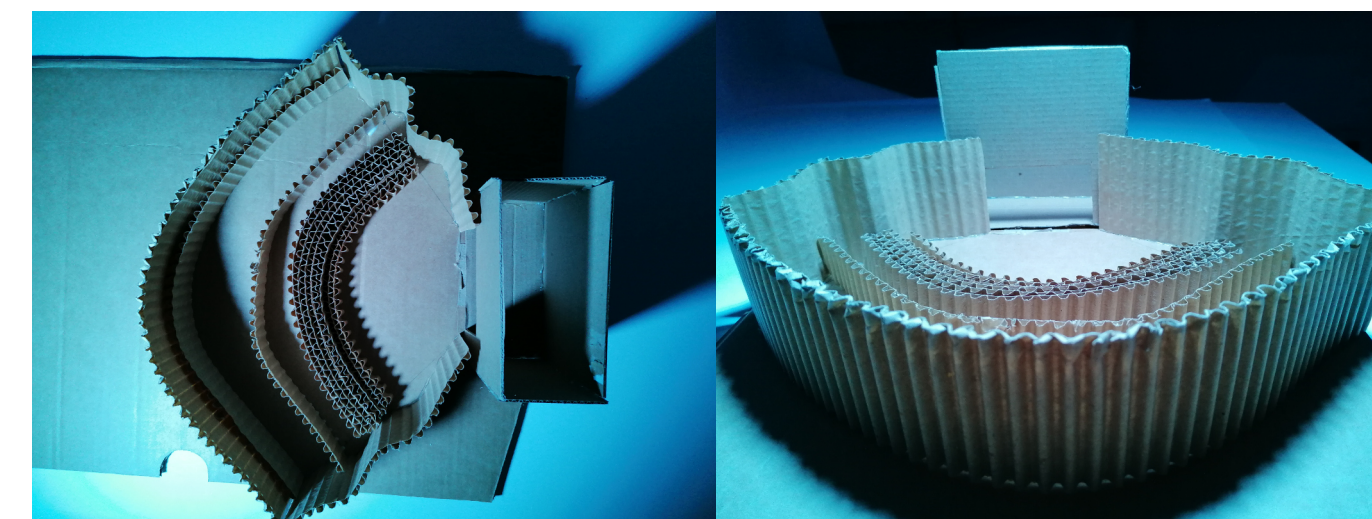
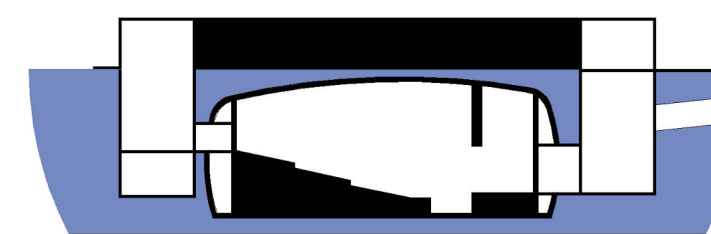
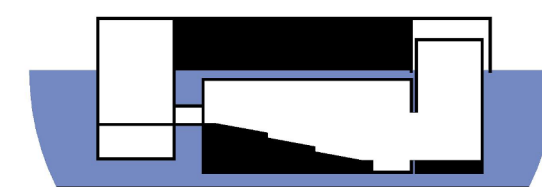
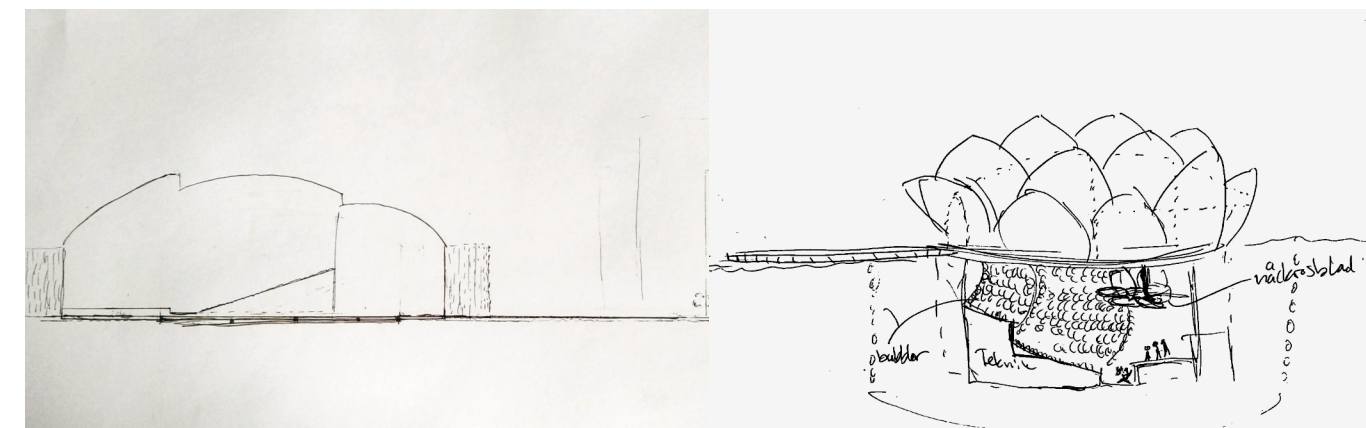
## THE WATER LILY

Vi valde att gå vidare med "The water lily" då vi tyckte den var den mest annorlunda och utmanande. Vi och akustikern var alla intresserade av vad vattnet skulle innebära för ljudet, och även hur något så här skulle kunna fungera.

Till en början var tanken att hela byggnaden skulle ligga ovan vatten, men vi blev intresserade av hur vattnet skulle fungera som ljudisolering och själva upplevelsen av att röra sig under vatten. Vi tog med oss från "The Rabbit Hole" ljuset och känslan av att befinna sig under ytan. Detta ledde till att vi började kollade på alternativ då byggnaden delvis går under ytan.

Vi insåg tidigt att för att få den fulla effekten av att vatten som ljudisolering behövde hela salen ligga under vatten och ifrån kopplas från resten av byggnaden. Enligt tävlingsprogrammet ska det finnas ett stage house som är över 20 meter högt, vilket innebär att man skulle behöva röra sig ganska långt ner under ytan. Vi började kolla på olika alternativ för hur detta kunde lösas. Antingen att den ligger helt under vattnet, eller att stage house:et sticker upp över vattnet och att man då får isolera den.

Vi valde att ta ett steg från programmet på den här punkten och hitta en alternativ lösning för kulisserna. Utan stage house:et behöver vi inte frångå vårt koncept med en separat byggnad under vattnet, och vi kan dessutom minimera hur djupt den går under ytan. Den lägre takhöjden innebar att vi inte har boxar eller läktare i salen.



## MODELLBYGGE OCH GRASSHOPPER

Även i detta vidare gående steg fortsatte vi med att jobba med enklare modeller. Denna gången främst för att få en känsla för salen. Vi ville förstå hur denna låga takhöjd skulle upplevas, och hur vi kunde få en mer organisk, vågig form. Vi använde modellen för att försöka fånga den stämningen och undervattens känslan vi eftersökte

För en mer övergripande blick över byggnaderna och hur dom två delarna skulle samspara övergick vi att jobba med digitala modeller. Tidigt i denna fas började vi med att göra grasshopper modeller, både över salen och den övre byggnaden.

Detta gav oss en känsla för grundformerna, och eftersom vi gjorde allt i grasshopper var det lätt att ändra några parametrar och på så sätt experimentera med modellen.

Ingen av oss hade jobbat så mycket med grasshopper innan och vi ville gärna utveckla våra kunskaper och testa på att jobba med denna metoden. Det hjälpte även när vi jobba med dom mer organiska formerna som kronbladen och vattenväggen, då vi verkligen kunde testa oss fram och snabbt se olika alternativ.

## TRE AKUSTISKA PROTOTYPER

Ett moment i kursen var att komma fram till tre akustiska modeller, som skulle användas i byggnaden

Tillsammans med akustikerna tog vi fram tre förslag som vi sen utvecklade under projektet och som finns med i slutresultatet

**NÄCKROSBLADEN:** Tänkt som absorber/reflektorer som skulle sitta i taket för att verkligen ge känslan av att sitta under vatten. Dom ska gå att vända för att ändra salens efterklangstid.

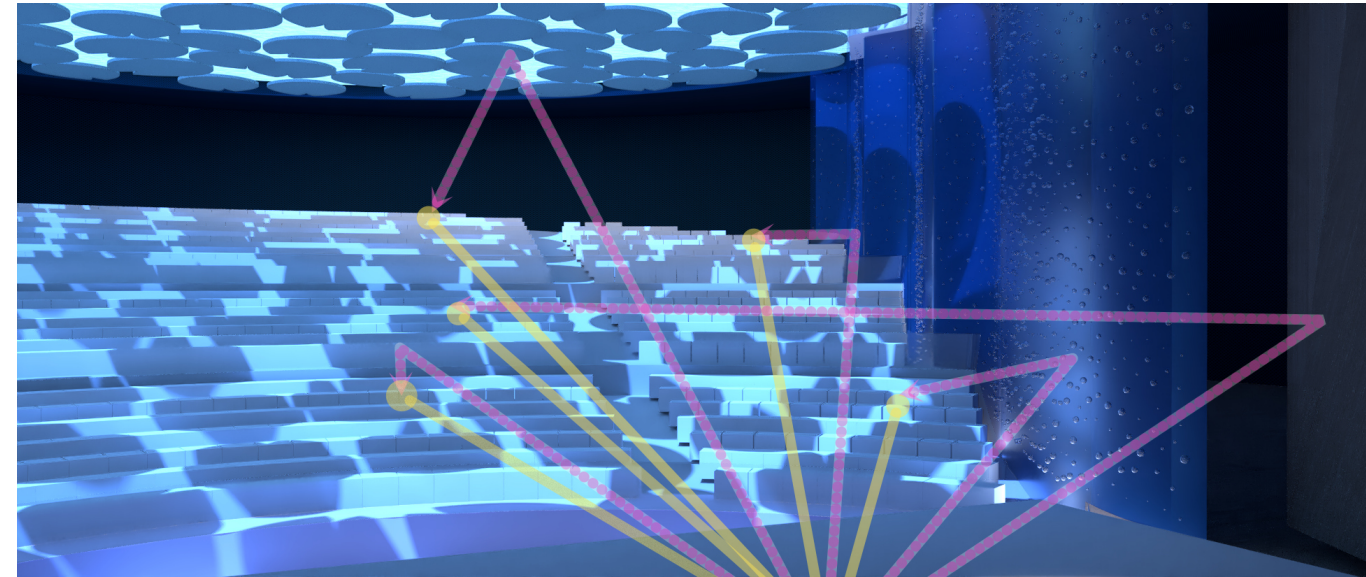
**KRONBLADEN:** I programmet stod det som krav av man skulle ha en orchestra shell, vi tänkte att vi kunde göra ett som passade in i projektets tema. Formen är också framtagen med grasshopper på liknande sätt som kronbladen på fasaden, och den ska också just spela tillbaka till byggnadens utsida.

**BUBBELVÄGG:** Prototypen som började som något och blev nåt annat.

Till en början var det en vägg med bubblor, i typ gummi, där man genom att reglera luften i bubblorna kan ändra hur mycket den absorberar. Vi hade olika idéer hur detta kunde fungera. Vi pratade också om att skapa håligheter som kunde absorbera vissa frekvenser.

Med akustikern kom vi fram till att vi nog skulle ha ett större problem med att efterklngen blev för kort än för lång, så blev det viktigare att den var reflektiv.

Vi lyfte möjligheten av att ha en faktisk vägg med vatten, som ett sätt att öka undervatten känslan och som ett sätt att kyla ner och ge ett mer behagligt inneklimat. Dessutom tänkte vi att det kunde ge en intressant effekt i salen, och att man kunde jobba med ljuset i väggen. Så bubblorna övergick till att vara bubblor i vatten. Sen gick den vidare till att vara flyttbar då vi insåg att pga den låga takhöjden behövde vi kunna öka volymen för att nå dom högre efterklangstiderna.



## VATTEN

En av grunderna i konceptet var tanken på att en vattenridå skulle omge byggnaden och dränka ut ljudet från motorvägen. När vi gick vidare i projektet övergav vi den idéen, då vi insåg att ljudet från vattnet skulle orsaka mer problem för ljudet än det skulle bidra till med i effekt. Vi började istället kolla mer på hur vatten kan fungera som ljudisolering. Vi kom fram till att vattnet var en bra lösning på ljudföroreningar i programmet:

Genom att lägga salen under vattnet dyker nya problem upp med båtar och djurliv. En lösningen på detta är bubble curtains. Det är något som används idag bl.a. vid borringar och sprängningar under vattnet, för att se till att ljudet inte stör djurlivet i vattnet. Jag tycker det var intressant att kunna lära sig om denna tekniken, hur luftbubblor kan isolera från ljud

## SALEN

En del i tävlingsprogrammet var att akustiken i salen skulle kunna varieras för att passa olika typer av framträdanden. Så vi ville kunna variera mellan 1.2-2 s efterklangstid, och även ha bra klarhet och ljudstyrka. Beräkningar i Matlab gjordes under projektets gång, så att vi kunde se hur olika förändringar i salen och materialval skulle påverka efterklangstiderna.

Tidiga reflektioner är en viktig del i att få bra klarhet i ljudet. Det låga taket hjälpte med detta, men vi gjorde fler åtgärder för att få till dess tidiga reflektioner. Vi valde att lägga i ett par sektionsväggar i läktaren och sneda väggar på scenen.

Lobbyn har inte skyddet av vatten, men vi hade inte heller samma krav på ljudnivå. Det ska vara en livlig del av campus. Visst ska det vara möjligt att sitta och plugga, men omgivningen ska få existera. Vi kom fram till att en dubbelglasad fasade räckte för att uppnå den önskade ljudnivån.

## Resultat:

### ATT UTVECKLA

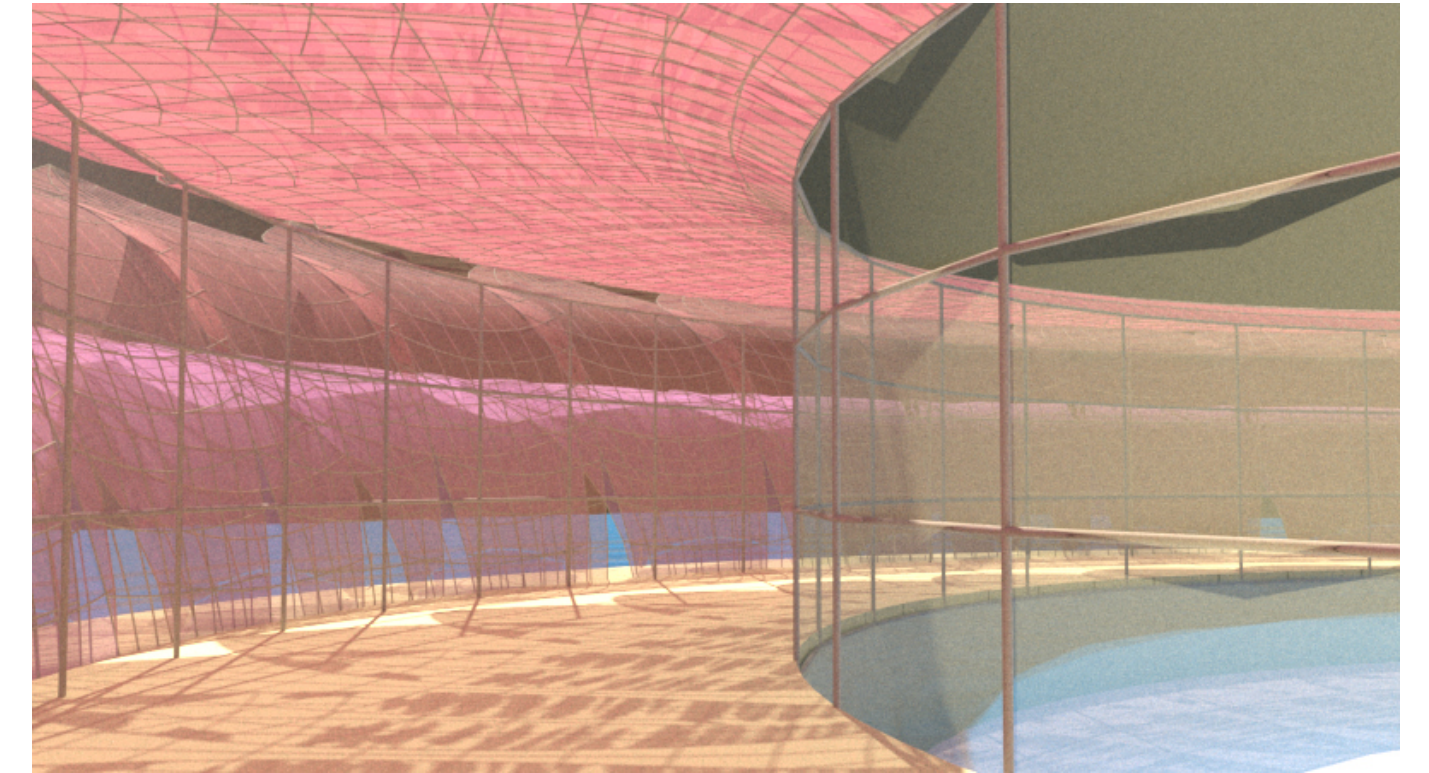
Det intressanta för mig med det här konceptet är att även när jag har nåt slutet av projektet känner jag att det finns så mycket kvar jag skulle vilja jobba med och utveckla. Det är något med att börja i en idé som är så galen, som gör en motiverad att hitta vettiga lösningar.

En av sakerna jag skulle vilja jobba vidare med är strukturen. Vi kollade på olika undervatten och flytande konstruktioner för att få en känsla för vilken typ av lösning som skulle fungera bäst. Men det skulle vara intressant att kunna jobba mer med det, för att kunna presentera en mer övertygande konstruktion.

När man lägger fram ett förslag som inte liknar något någon har sett innan, behövs det att man kan presentera det på ett övertygande sätt. Jag tror vi hade behövt jobba vidare för att nå den punkten.

Jag skulle också vilja jobba vidare med kronbladen. Det började som en galen idé, men nu känner jag att det är många väggar vi skulle kunna ta för att bättre övertyga om att dom inte bara ett roligt koncept utan något som faktiskt är nödvändigt för projektet. Just nu fungerar dom som solavskärmning, men det skulle vara intressant att gå djupare in i på ljus analyser och hur dom bäst ska formas och placeras för att ge behagligt ljus både i lobbyn och på bryggan runt om. Vi diskuterade också möjligheten att använda bladen för att fånga upp och rikta vinden för naturlig ventilation i ring byggnaden. Att byggnaden ligger på vattnet och är rund ger bra möjlighet att använda sig av vinden.

Jag skulle också vilja gå in mer på dom tekniska lösningarna i salen. Kolla mer på hur näckrosbladen och vatten väggarna skulle fungera i verkligheten. Det hade också varit bra att kolla på hur man kunde genomföra någon form av solavskärmning i taket för att ge kontroll över ljuset.



## KRITIKEN

Under kritiken fick vi kommentarer både på avsaknaden av ett stage house och ljusinsläppet i taket. Jag förstår dom kommentarerna och har själv funderat över det. För oss valde vi på dessa punkter att gå fullt ut för konceptet och mer anamma utmaningarna som kommer från det. Vi valde att göra ett udda koncept, verkligen inte det mest praktiska, och då följde vi dit ledde.

En annan kritik var att den inte upplevdes som ett operahus. Jag förstår kommentaren, den har inte den högtidlighet som man känner i många operahus. Vi tänkte nog mer på byggnaden som att den skulle ge nåt till campusen och vara en plats för studenter att vara. Tidigt i projektet hade vi nog en bild om den upplevelse och känsla vi ville att byggnaden skulle ge, men i det förlorade vi kanske den högtidlighet många vill känna när dom ska till en föreställning.

## PRESENTATIONEN

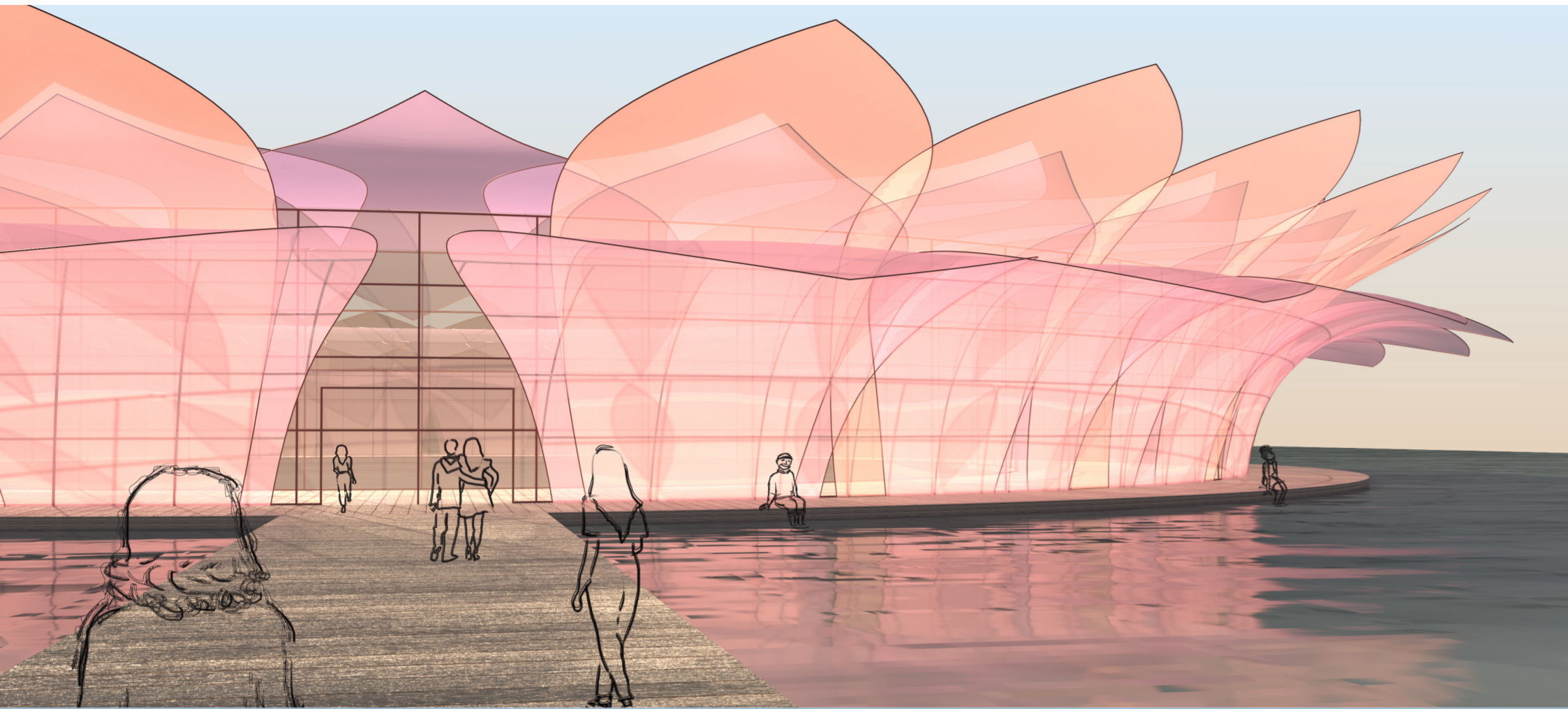
Målet med våran presentation var att framföra den lekfullheten och glädjen som fanns i projektet, och det tycker jag vi lyckades med. Det var svårt att balansera vad som skulle fokuseras på på planschen.

Kanske hade konstruktionen och just hur vattnet fungerat rent akustiskt behövs framhävas mer. Det är något som är så speciellt för det här projektet, så det kanske skulle lyfts mer, det är också delar som vi kanske skulle behöva jobba vidare med.

Det skulle också vara trevligt med en bild inne från lobbyn, eller trappan ner till salen, för att riktigt sälja in bladen och ge en större förståelse för byggnaden.

Trots det tycker jag att vi visar mycket av det vi ville få fram med projektet.

# The Water Lily

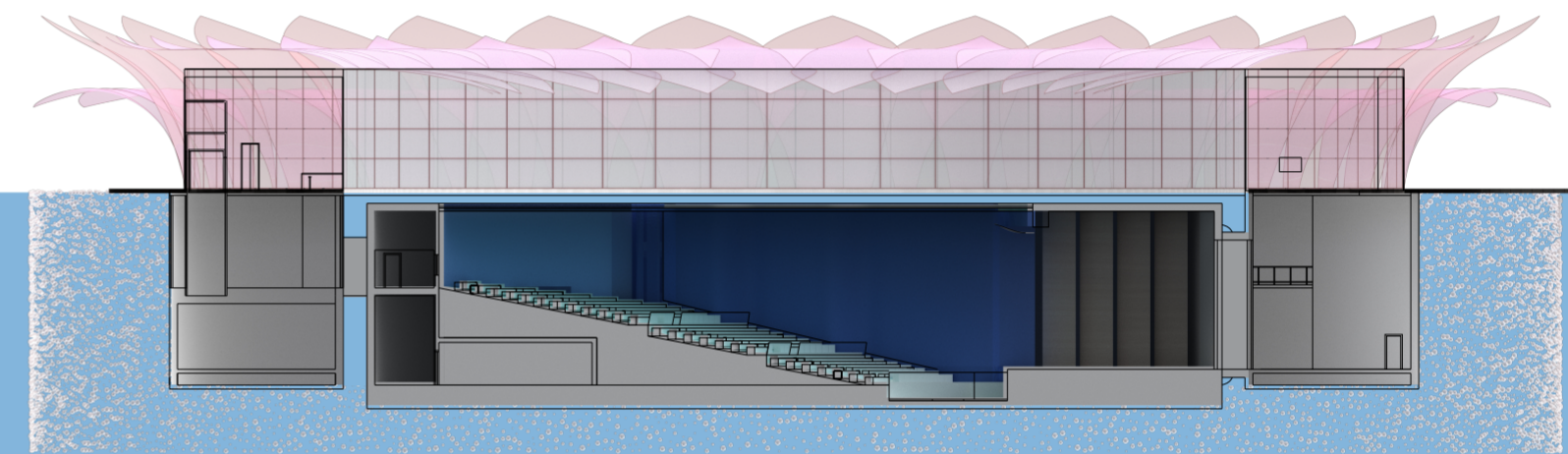


Imagine music underwater. Blue light dancing from the ceiling through leaves of water lilies. Mesmerizing bubbles fill the walls.

Like a water lily the building rests on the water surface. Hiding its inner core, the performance hall, completely surrounded by water to protect from noise above.

The noise from outside is replaced by excited chatter as you walk into the lobby. The audience is led down in the water by a stairway next to the glazed facade. Once you have reached the floor below, you find yourself in a spacious room with big windows looking out into the water. In the music hall the sound is once again replaced, now by an anticipatory silence.

The deck surrounding the building is a nice place for students to study or practice. There is room for sitting on the edge, dipping your toes in the water on warm days. The petals on top of the building shades the deck from direct sunlight and creates a roof for rainy days. The lobby can open up to the deck and entice the visitors for a drink or walk outside during intermission.



## THE LOBBY

The entrance is reached by a floating pier connected to the deck surrounding the building. Directly inside is the lobby with both study places for the students and mingle spaces with a bar for visitors. The two spaces are divided by the wardrobe and can be separated with sliding walls when having separate events. The lobby can be reached from two entrances, one in each part.

To reduce the noise from outside in the lobby we will use a double glass wall and roof with an air gap in between. Inside the lobby we will use acoustical sails in the ceiling to absorb sound created by people.

## BUILDING STRUCTURE

The building will be floating to follow changes in water levels. The building will use the principle of a boat where it displaces a big amount of water to get a greater buoyancy force holding it up. The building will be held in place by poles where the building can move freely up and down, but not sideways. The floating structure makes this concept flexible and it can be constructed and moved to any waters.

## INDOOR CLIMATE

The petals on top of the building protects the glass facade from direct sunlight and will dampen the heat in the lobby. In the opera hall, the surrounding water will cool down the building and reduce the need of air conditioning. The MER-room under the audience is to make sure the opera hall has a nice indoor climate and ventilation. The supply air in the opera hall will come from under the seats and the exhaust air can be taken out near the ceiling and used in the bubble curtains and walls.

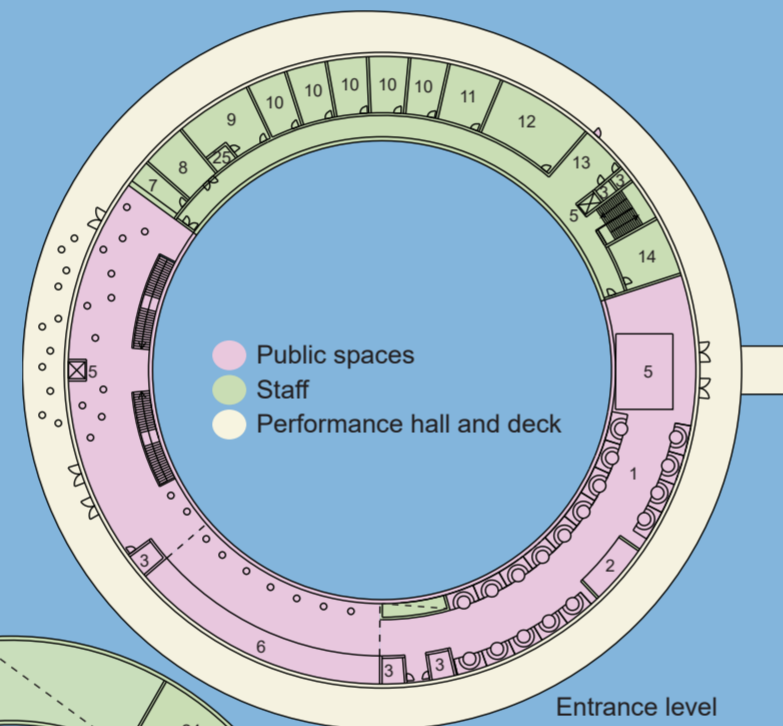
Many rooms producing sound, like restrooms and MER-room, are placed in the outer building.

## THE PIER

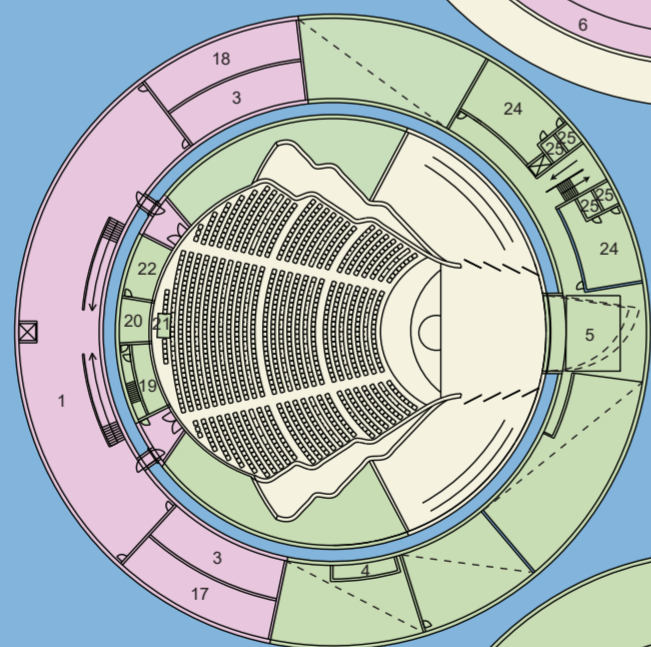
The pier leading out to the building can also be used by trucks when there is material to be transported to the building. The load of the truck can be placed on the floor of the lobby. The floor is a big elevator and can descend to the scene shop.

### PLANS 1:500

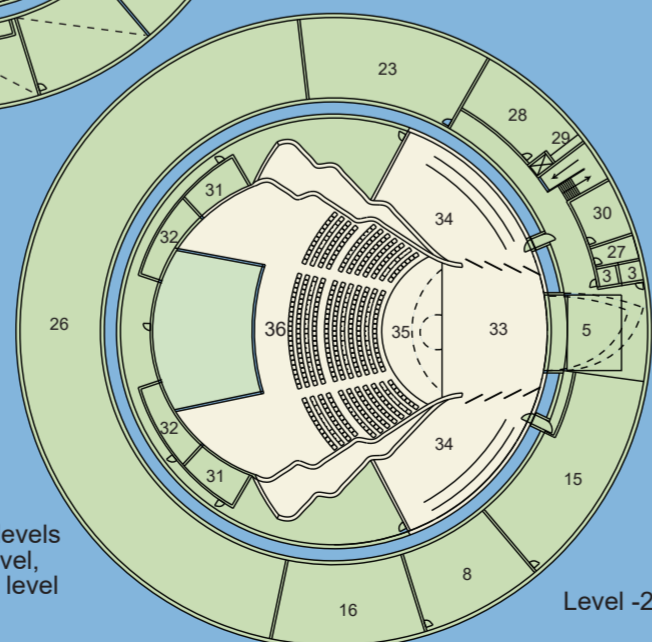
1. Lobby
2. Cafeteria
3. Restroom unisex
4. Shaft
5. Elevator
6. Wardrobe
7. Bar
8. Storage
9. Dressing conductor
10. Dressing room solo
11. Wig & Make Up
12. Costume shop
13. Lounge
14. Office



Entrance level



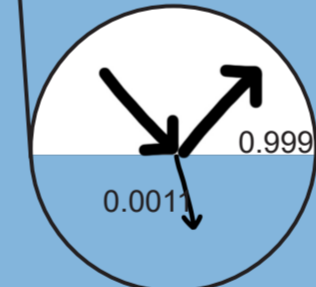
Level -1



Level -2

15. Scene shop
16. MER-room
17. Restroom Men
18. Restroom Women
19. Follow spot booth
20. Projection/title booth
21. Audio mix
22. Lighting & stage manager
23. Rehearsal
24. Dressing room 14 ppl
25. WC with shower
26. Space for weight equalization

27. Prop pantry
28. Green room
29. Pentry
30. Quick change
31. Audio and lighting storage
32. Dimmer and audio rack
33. Stage
34. Stage wings
35. Orchestra pit: 3 parts & 3 levels
36. Seatis: 1 150 - pit on pit level, >1 200 - pit on seating level



## WATER AND SOUND

The impedance difference between water and air results in the water surface behaving like a sound reflector. With a reflection of 99.9% and transmission of 0.11 % the water reflects most airborne noise coming from the nearby highway and aircrafts.

In the opera hall we want to have a NCB-level between 10 and 15. By placing the opera hall in the water we can take advantage of the impedance difference as well as a water layer for insulation.

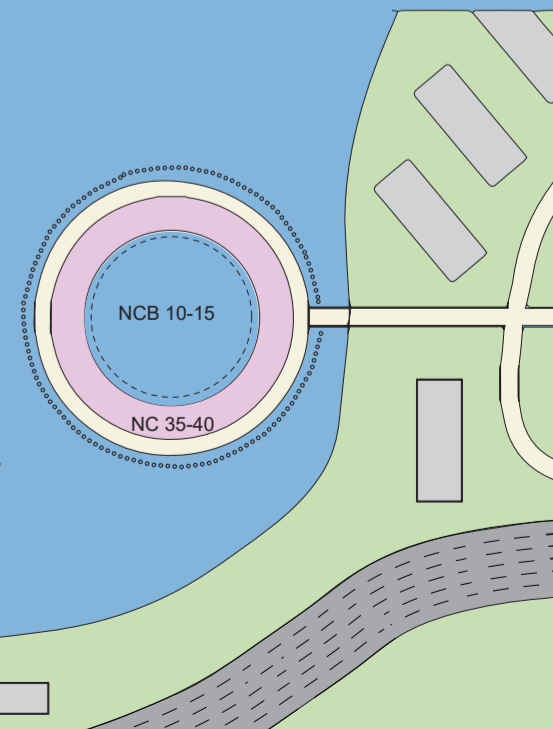
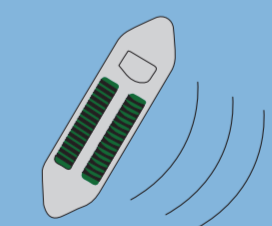
## UNDERWATER NOISE

Being underwater, we need to consider noise coming from the water, both natural and man-made. We are using bubble curtains to reduce the ambient noise in the water. The impedance contrast creates reflection, while the bubbles, to some extent, also will resonate and absorb sound energy. The remaining sound in the water will be taken care of by the roof and the walls constructed with the room in room principle, using a combination of solid (concrete) and soft material (air) which decouples the opera hall from the outer room and gives good insulation.

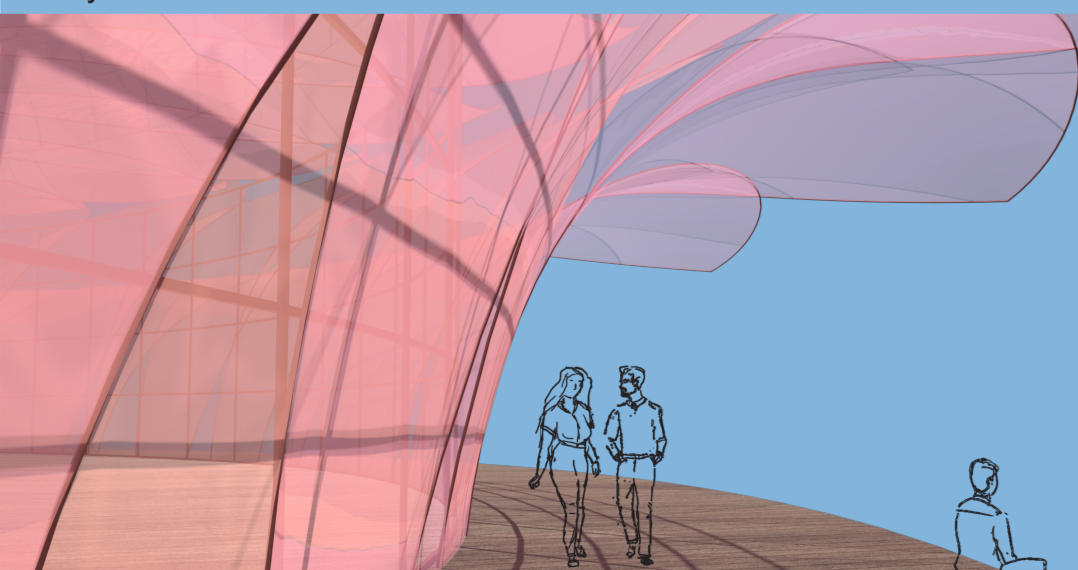
## VIBRATIONS AND NOISE

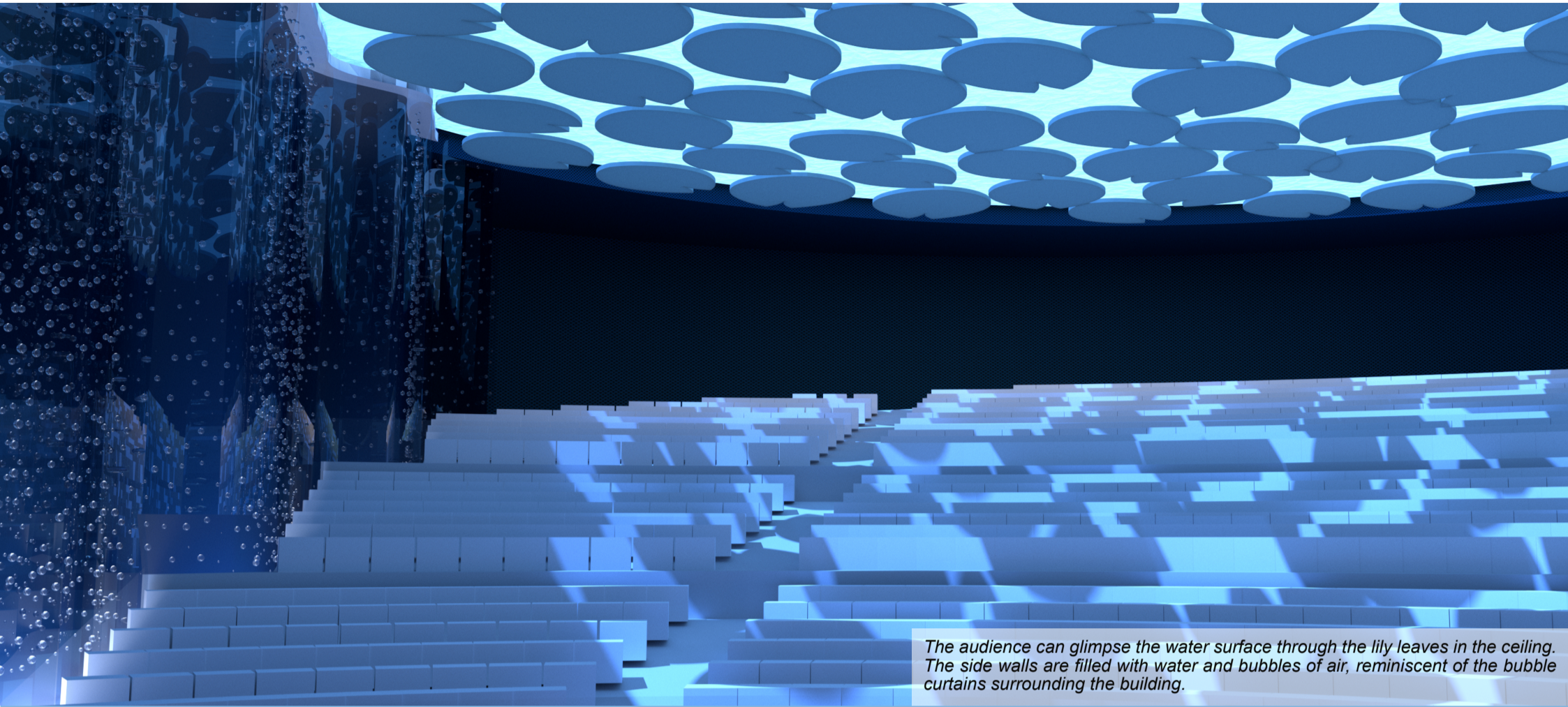
Connections between the two buildings are made with acoustic sealant to prevent vibrations traveling into the performance hall. There are two connections for the audience, two for performers and one directly behind the stage with easy access to the scene shop.

Two sets of doors are used for every connection to prevent noise travelling through the air from the outer building into the music hall. In addition, the audience is led through an absorbing chamber before entering the opera hall, which contributes to the overall acoustic experience.



The decoupling is arranged with air springs which gives high insulation at the low frequencies coming from the sea. The walls of the opera hall have no rigid support to the outer walls, the floor is floating and the ceiling is suspended.





The audience can glimpse the water surface through the lily leaves in the ceiling. The side walls are filled with water and bubbles of air, reminiscent of the bubble curtains surrounding the building.

## REVERBERATION TIME

There are three main ways to change the hall for variable acoustics.

The volume of the room can be increased by moving the side walls outwards.

The back wall is supplemented with curtains to prevent echo.

The water lily leaves are made with polycarbonate on one side and cotton fabric on the other, spaced 6 mm from the plastic. The leaves can rotate to show the more reflective or absorbent surface.

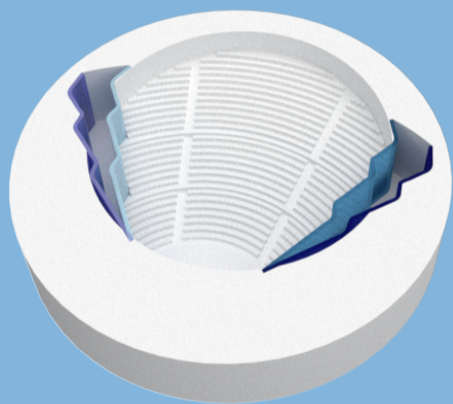
The walls and roof are made of polycarbonate with an uneven surface to diffuse the sound.

To even out the reverberation time of the higher and the lower frequencies, there are Helmholtz resonators for the lower frequencies placed in the back wall. The amount of used resonators can be altered for various reverberation times, by opening or closing the holes with a sliding hatch.

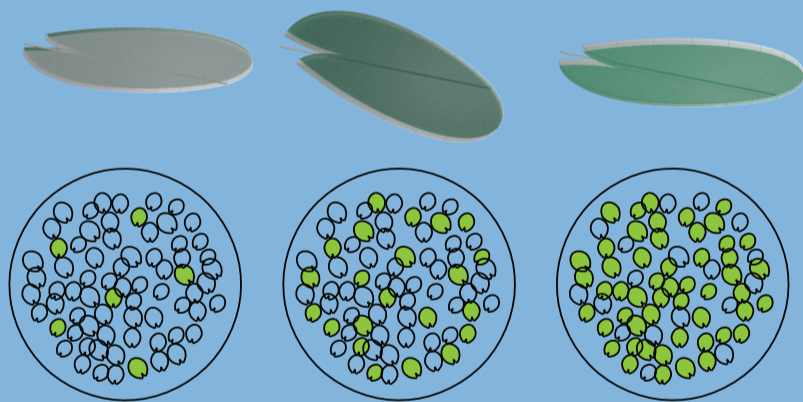
## REHEARSAL ROOM

The rehearsal room has high ceilings to enable a long reverberation time and there are water lily leaves, similar to the ones in the opera hall, for variable acoustics.

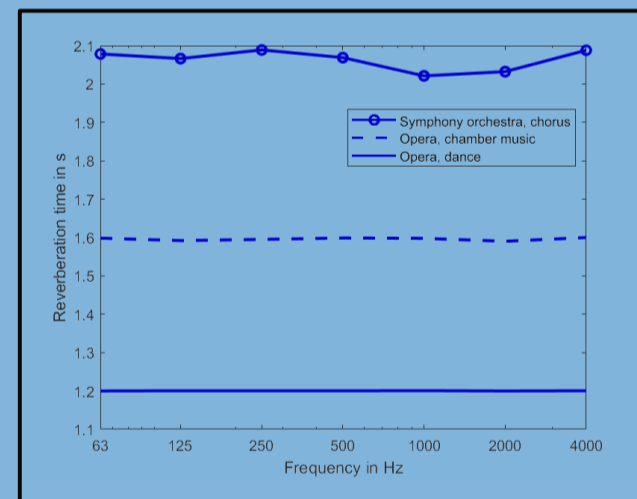
The room is located in the outer building, away from the noise of the scene shop and lobby.



Adjustable volume in the opera hall



7 % absorbent leaves 22.5 % absorbent leaves 70 % absorbent leaves



Examples of reverberation times for various performances

Performance	Reverberation time	Volume	Curtains	Leaves
Opera, dance	1.2 s	9810 m <sup>3</sup>	30 %	70 %
Opera, chamber music	1.6 s	9810 m <sup>3</sup>	30 %	22.5 %
Symphony orchestra, chorus	2.1 s	11210 m <sup>3</sup>	10 %	7 %

## REFLECTORS AND EARLY SOUND

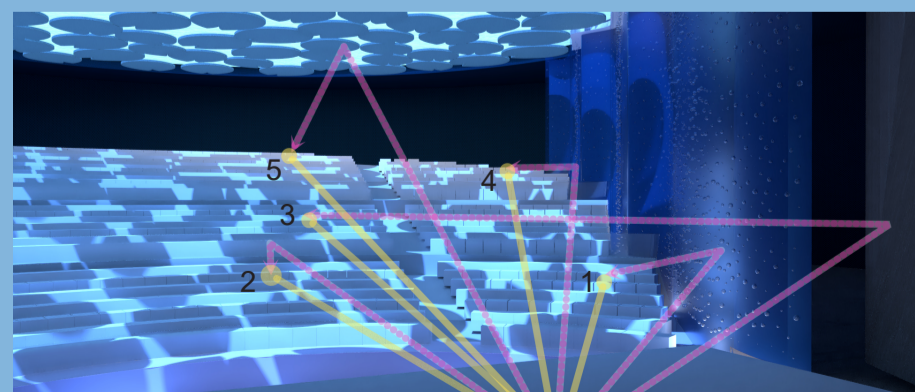
To gain a high clarity value, we want early reflections with a small initial time delay gap between direct sound and reflected sound, a maximum of 20 ms. The low ceiling, the curved sidewalls and the section walls in the audience all contribute to early reflections. The side walls on stage are movable to direct the sound reflections where needed.

The leaves hanging above the stage help direct the sound outwards as well.

For a smaller ensemble or orchestra there are portable shells that can be used for directing the sound and increasing the amount of early reflections. The shells are the same shape as the petals from outside.

### Initial time delay & sound strength

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 1 | Distance: 11 m<br>ITDG: 3.5 ms<br>G: 6.3 dB | 2 | Distance: 12 m<br>ITDG: 13 ms<br>G: 6.2 dB  |
| 3 | Distance: 17 m<br>ITDG: 18 ms<br>G: 5.8 dB  | 4 | Distance: 28 m<br>ITDG: 2.9 ms<br>G: 4.2 dB |
| 5 | Distance: 32 m<br>ITDG: 1.9 ms<br>G: 3.5 dB |   |   |



● Early reflections ● Direct sound