

# AKUSTIKK

Betania: Masteroppgave i arkitektur

Akustikk

Betania: Masteroppgave i arkitektur 2018

Andrea Reinlund Hansen, 02.10.93

Marta Elísabet Ingólfssdóttir, 25.02.90

Veileder:

Eileen Garmann Johnsen

# Lyd

Lydopplevelsen i et rom er en viktig del av arkitekturen som vi ønsker å lære mer om, og integrere i utformingen fra tidlig designfase. På grunn av dette har vi fått veiledning av akustiker Mathias Eftevand gjennom hele prosessen.

Vi har satt oss som mål at bygget skal være godt akustisk tilrettelagt for den primære bruken av de forskjellige rommene.

Heftet gjennomgår akustiske prinsipper, behov, løsninger og simuleringer, som vi nyttiggjør oss av i formingsoppgaven.



*Lydbølger kan sammenlignes med vannets bevegelse.*

Foto: eget

# Materialer og lyd

## Lydens bevegelse

*"I rum som foredragssale og mødelokaler er det viktig at kunne styre lyden i bestemte retninger. For at kunne styre lyden skal man vite, hvordan lyd opfører sig i et rum. Lyden bevæger sig sfærisk, så når man taler, utsendes lydbølger i alle retninger, så lydbølgerne danner en kugleform, som beveger seg væk fra lydkilden." (Ipsen og Rasmussen, 2008, s. 16).*

For å forstå bedre hvordan lyden beveger seg kan vi få hjelp av 3 forskjellige bilder:

*Stein som kastes i vann:* Steinens møte med vannet blir et bilde på selve lydkilden og ringene som dannes på vannets overflate et bilde på lydbølgene. Hvis ringene på vannoverflaten møter en hindring vil de bevege seg tilbake og vekk fra hindringen, noe lyden også gjør. I motsetning til vannbølgene, som beveger seg i to dimensjoner, beveger lyden seg i alle retninger.

*Brygge som blir truffet av bølger:* Når bølgene treffer skrått på bryggens langside, legger de seg etter den og løper langs kanten. Når bølgene treffer vinkelrett på bryggen, kastes de tilbake. En brygge som er plassert på en steinvoll blir ikke rammet av bølgene på samme måte. En del av vannet renner mellom steinene og bølgene absorberes. Vannet bremses og bølgene taper sin kraft.

*Biljardkulens bevegelse:* Når man støter biljardkulan rett frem mot bordkanten, vil den komme rett tilbake. Sender man den derimot på skrått, eller treffer hullet, vil den endre retning, få en lenger vei tilbake og miste hastighet. Det samme skjer med lydbølger. (Ipsen og Rasmussen, 2008, s. 17)



*Universitetsaulaen i Bergen oppfattes som et bra rom for tale.*

Foto: eget

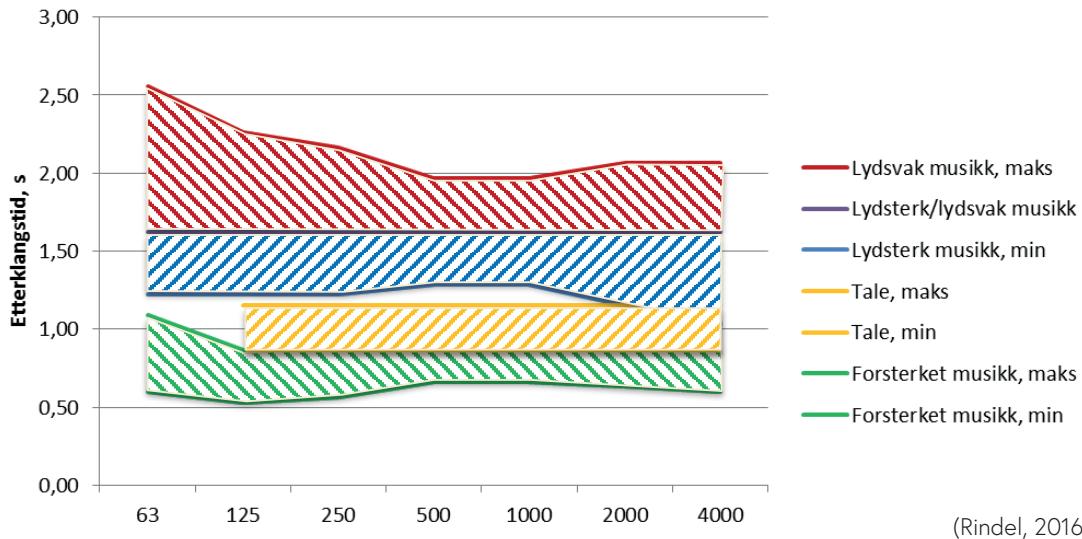
## **Materialitet**

Forskjellige materialer påvirker lyden på forskjellige måter. Harde materialer reflekterer lyden, myke materialer absorberer lyden og ujevne flater sprer lyden. I et rom med harde overflater kan man bryte opp lyden med å lage ujevnheter i form av kanter, søyler, nisjer o.l. Ved å spre lyden blir den mindre hard og tale kommer bedre frem. (Ipsen og Rasmussen, 2008, s. 26-27) Lyden oppleves klar og skarp i et rom med harde materialer mens myke materialer skaper en grøtete lyd i rommet. Plasseringen av de ulike materialene har stor betydning, jo mer fremtredende materialene er, jo mer påvirker de lyden i rommet (Ipsen og Rasmussen, 2008, s. 48)

Hvordan materialene påvirkes av lyden avhenger av lydens frekvens. Lyd av lav frekvens kan trenge igjennom tunge robuste materialer og sette dem i sving. Dette er grunnen til at man kun hører den dypeste bassen når naboen spiller høy musikk. Den høye frekvensen er ikke sterk nok til å trenge gjennom veggen, men reflekteres tilbake inne i rommet der musikken spilles. (Ipsen og Rasmussen, 2008, s. 20)

## **Utforming**

Rommets utforming har stor betydning for hvordan lyden oppfører seg. Et rektangulært rom er mer forutsigbart og lettere håndterbart enn et rom med flere kanter. (Ipsen og Rasmussen, 2008, s. 40) Derimot kan man redusere støy ved å vinkle flater på en strategisk måte. Glassfasader kan være utfordrende i mindre rom da de er harde og reflekterer lyden godt. Da er det lurt å plassere absorberende materialer på motstående vegg. I et slikt tilfelle kan man øke effekten av den absorberende veggen ved å tilte glassveggen 6 grader. Da reflekteres lyden direkte dit den skal. (Ipsen og Rasmussen, 2008, s. 39)



Figur 1.1: Etterklangstid for tale og musikk i store volumer. Fargene representerer ulike bruksområder. Rød: Lydsvak musikk (fiolin, gitar osv.), Blå: Lydsterk musikk (blåseinstrumenter, korps osv.), Gul: Tale, Grønn: Forsterket musikk (elektronisk).



### **Etterklangstid og taleoppfattelse**

Når man skal beregne hvor mye absorberende materialer som skal brukes i bygget, og hvilke absorbent-typer som egner seg, bruker man etterklangstiden som redskap. (Ipsen og Rasmussen, 2008, s. 44)

*"Etterklangstiden,  $T$  (s), er den tiden det tar for et gjennomsnittlig lydtryknivå å falle 60 dB etter at lydkilden i rommet er avbrutt. Etterklangstiden er frekvensavhengig pga. at absorpsjonsfaktoren er det" (SINTEF Byggforsk, 1998).*

Etterklangstiden gir oss en pekefinger på hvor lenge lyden "henger igjen" i rommet i form av ekko, før den absorberes og stilner. I tillegg måler man taleoppfattelse, eller tale tydelighet, for å beregne hvor godt talen oppfattes i et rom.

*"Taleoverføringsindeks, STI ev. Rasti, er et tall mellom 0 og 1 som angir hvor godt en mottaker oppfatter tale fra en taler eller et høyttaleranlegg i en posisjon i et rom. Det finns spesielt utviklede instrumenter for direkte måling av Rasti. Taleoverføringsindeks brukes vanligvis til å karakterisere taleoppfattelse ved bruk av lydforsterkningsanlegg. Det kreves avansert måleinstrumentering. Verdier høyere en 0,6 gir rimelig god taleoppfattelse; verdier lavere enn 0,3 gir meget dårlig taleoppfattelse." (SINTEF Byggforsk, 2004)*



*Lovsang under lørdagsgudstjeneste i Betania.*

Foto: Arne Bjarte Lid

# Akustisk behov i Betania

## **Kirkerommet**

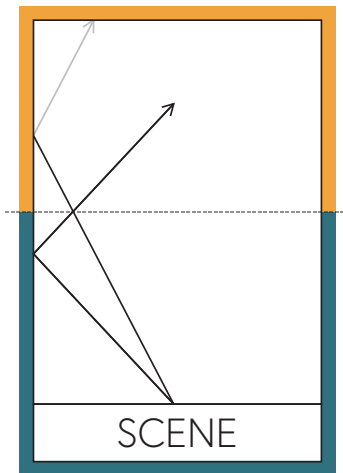
Rommets hovedfunksjon er gudstjenester og møter, der de viktigste elementene er tale og musikk. Talerens stemme skal bære frem til lytterne, musikken skal oppleves på en god måte, og forsamlingen skal kunne ta del i møtet i form av felles lovsang og bønn. Vi har derfor satt et mål om å oppnå en etterklangstid rundt 1,2 sek. Da kan budskapet lyde klart, samtidig som menighetens fellessang får litt klang. Når det brukes forsterket musikk ønsker vi å kunne redusere etterklangstiden til 0,9-1 sek. Dette er den mest brukte musikktypen i Betania, både på søndags- og lørdags- gudstjenestene.

## **Fojé og peisestue**

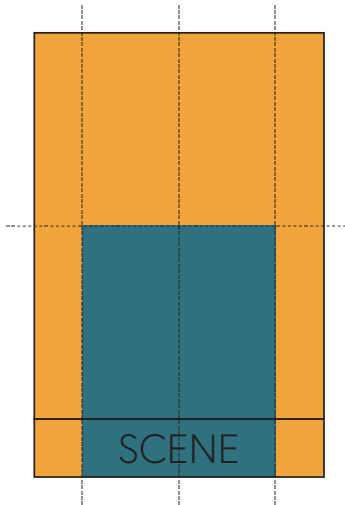
I vrimleområdene vil målet være en svært kort etterklangstid. Rommene er både til bevegelse mellom funksjoner, og til opphold. Her vil det være aktiviteter med mye dialog, samt sosiale måltider -noe som gir behov for dempet lyd, og mye absorberende materialer.

## **Grupperom og kontorer**

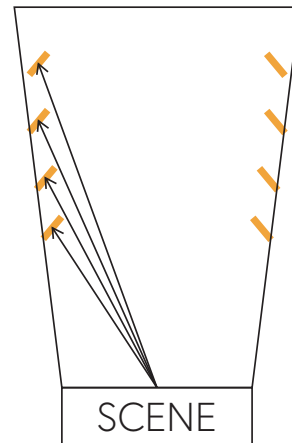
Det vil være behov for å lydisolere grupperom og kontorer for å skape arbeidsro og unngå at samtaler blir hørt fra rom til rom. Grupperommene brukes både av menigheten for søndagsskole og barnelag, men også av kontoret som møterom. Lydnivået i disse rommene vil være ganske lavt.



Figur 2.1: Veggprinsipp



Figur 2.2: Prinsipp for himling



Figur 2.3: Prinsipp for skrå vegger

- Harde materialer
- Absorberende materialer

# Rom for tale

De to første prinsippene viser hvor man kan plassere harde materialer og absorberende materialer i en sal for best mulig akustikk for tale. Hvis man deler salen omtrent midt i forsamlingens sitteplasser (Figur 2.1), er det gunstig om flatene nærmest scenen, samt korveggen på scenen, har en hard og gjerne ujevn overflate. Da vil lyden bli reflektert og båret bakover der resten av lytterne sitter. Derimot er det hensiktsmessig at veggene i den bakre delen, inkludert kortveggen midt imot scenen, har en absorberende overflate. Dette vil hindre lyden i å sendes videre på kryss og tvers av salen etter at lyden har nådd frem til de bakerste radene. Da unngår man ekko og støy i salen (Eftevand, 2018).

Det samme kan gjøres med himlingen (Figur 2.2). Nærmest scenen bør himlingen bestå av harde materialer mens den bakerste delen består av absorberende materialer. Grunnen er den samme, at lyden skal nå frem til forsamlingen som sitter lengst bak, men ikke reflekteres videre på tvers og kryss når den har nådd målet. Nærmest veggene vil det også være positivt med absorberende materialer, da lyden som treffer disse flatene ledes videre til øverste delen av veggen og ikke forsamlingen.

Det siste prinsippet (Figur 2.3) viser hvor man plasserer absorberende materialer i en sal med vegger som skrår fra scenen. For å hindre lyden i å reflekteres tilbake til taleren på scenen, plasseres absorberende elementer på tvers ut av veggene. De bakerste elementene må plasseres med en liten avstand fra veggen for å at de ikke skal være gjemt bak elementene som er fremfor dem.



*Aulaen sett fra scenen.*

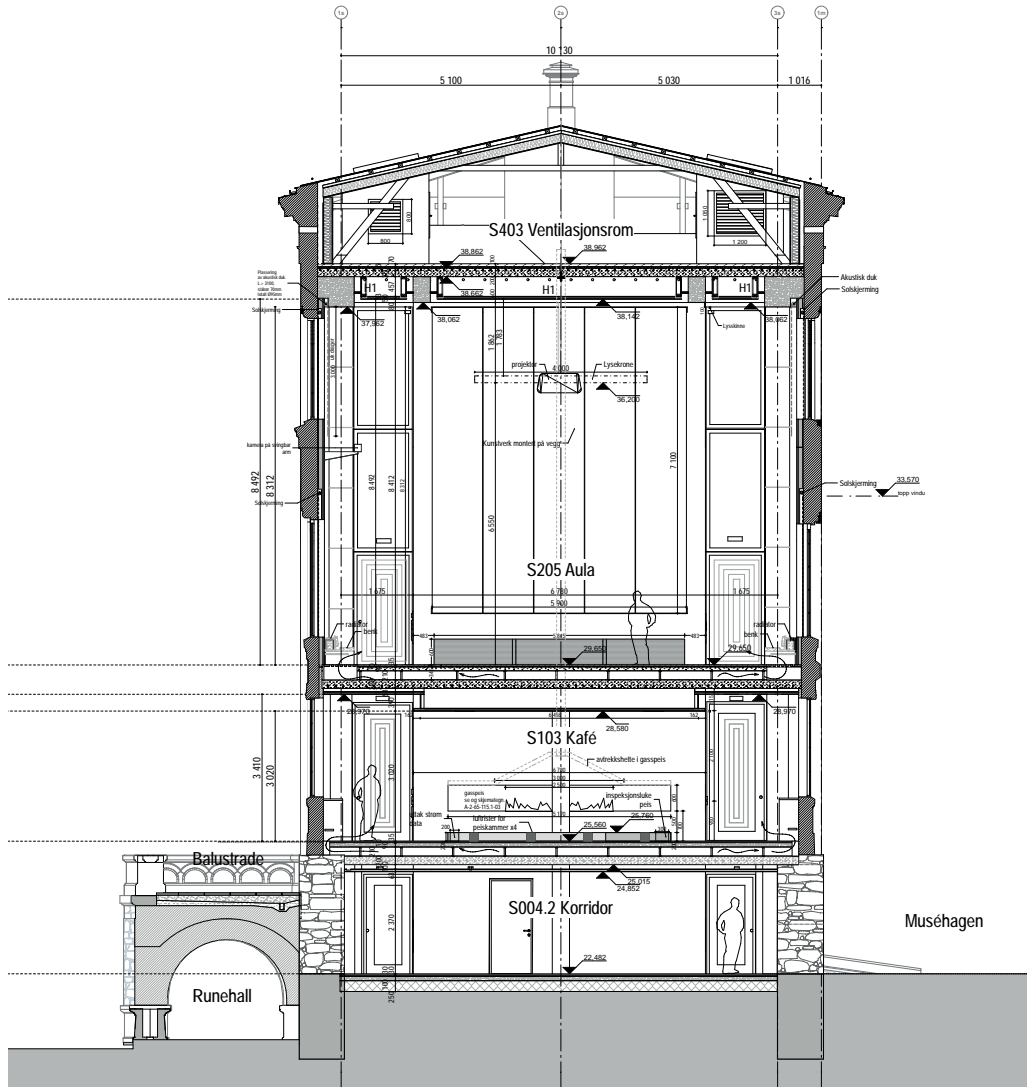
Foto: eget

# Analyse av Universitetsaulaen i Bergen

Vi besøkte Universitetsaulaen i Bergen som er et total-rehabiliterings-prosjekt i UiB. Arkitekt Margit Opheim, som har vært ansvarlig arkitekt for prosjektet, viste oss rundt og fortalte om bygget. I tillegg møtte vi en lydtekniker som har vært involvert i hele prosessen og styrer nå aktivitet og bruk av aulaen.

Aulaen blir hovedsakelig brukt til tale, for konferanser, undervisning o.l. Da er det viktig at lyden når frem til alle som hører på, og at bakgrunnsstøyen, fra alle menneskene som er samlet i rommet, blir redusert. Salen blir også benyttet til konserter, både med lydsterk, lydsvak og forsterket musikk. Alle disse ulike musikkformene krever veldig forskjellig akustikk, men aulaen har vist seg å fungere veldig bra til alle formålene og har et godt rykte på seg for god akustikk.

Universitetsaulaen i Bergen har et rektangulært plan. Den følger prinsippene som vist i figur 2.1 og 2.2. De hvite elementene i himlingen er tilsynelatende helt like, men de er bygget opp på to forskjellige måter. De elementene som er nærmest scenen er harde, mens de som er lengst fra scenen og de som er nærmest veggene er laget av porøse absorberende materialer.



Figur 3.1: Snitt gjennom kortvegg.

(Universitetsaulaen i Bergen, 2018)

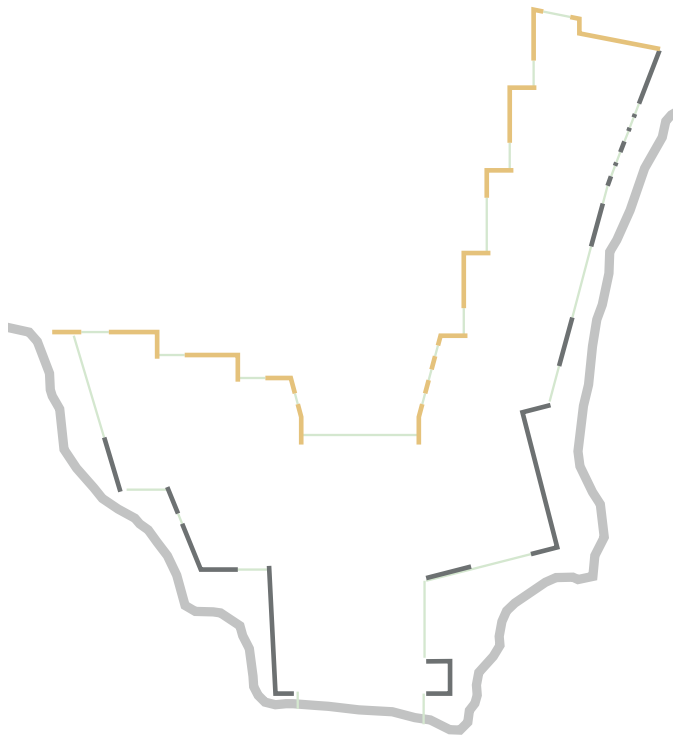


Veggen midt imot scenen er dekket av et stort kunstverk. Selve kunsten er laget i tekstil som i seg selv absorberer lyd. Bak teksten er det også en porøs plate som styrker absorberingen av lyden. Veggen bak scenen består av harde materialer, betong og glass. Lyden vil derfor reflekteres fra veggen bak scenen og inn mot salen, mens veggen midt imot scenen hindrer lyden i å bli reflektert tilbake og reduserer derfor ekko.

For å unngå ekko er det stor hjelp i alle ujevnheter i salen. I aulaen står det store søyler ved langveggene, laget av marmorblandet-betong. Søylen er plassert litt usymmetrisk, for å bryte lydens rytme. Hvis søylene hadde hatt jevnt mellomrom ville de fungert som lyd-stopper for noen lydbølger, mens andre lydbølger ville blitt reflektert med jevn rytme mellom søylene: ekko. Andre ujevnheter i salen, som de runde lysarmaturene i taket og annet interiør, hjelper på samme måte å bryte lydbølgenes rytme.

Salen er til vanlig møblert med stoler. De myke setene og stolryggene er kledd i tekstil og fungerer som lydabsorberende elementer.

Salens to langsider har vinduer i to høyder, med innvendig regulerbar solskjerming. Disse gardinene skjærer salen mot lys, men har som hovedfunksjon å dempe lyden når salen brukes til forsterket musikk. Gardinene som dekker de øverste vinduene trekkes opp og forsvinner i en slisse over himlingen når de ikke er i bruk. Den nedre rekken med vinduer har gardiner integrert i vinduskarmen, og er heller ikke synlige når de er trukket opp.



*Figur 4.1: Materialprinsipp. Betong (grått) inn mot klippen. Tre (gult) ut mot parken. Lysåpninger i glass (grønt).*

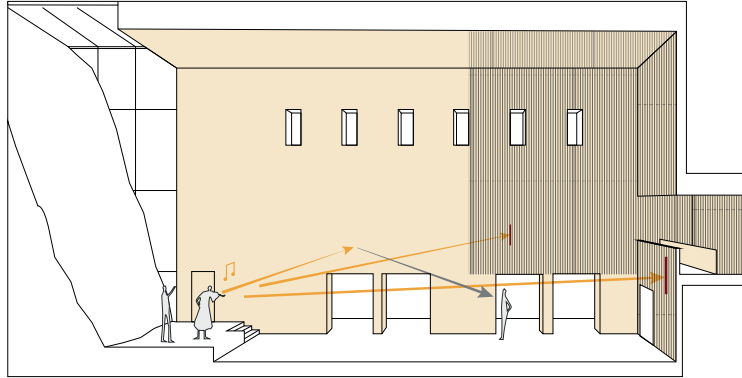
# Akustiske løsninger i Betania

Med utgangspunkt i møtene vi har hatt med akustiker Eftevand har vi kommet frem til løsninger for de ulike rommene i bygget. Vi har brukt undersøkelsene som et utgangspunkt for formgivning av rommene, både mtp struktur, utforming og materialitet. Den tidlige involveringen av lyd-studier håper vi vil styrke formsvaret, og gi en helhet til prosjektet. Ved å prosjektere på denne måten kan vi oppnå et design som ikke trenger etter-monterte elementer, for å måtte tilpasse lydopplevelsen til bruken.

Bygget består i hovedsak av tre materialer (figur 4.1): Betong i møte med klippen, både i gulv og vegger. Glass, i vinduer og som fasadeåpninger inn mot klippeveggen. Massivtre som bærende konstruksjon i yttervegger, innervegger og etasjeskiller.

Massivtreet har et stort potensiale ovenfor tredisjonelle trebjelag og stendervegger når det gjelder lydoverføring på grunn av sin tyngde. Generelt vil økt tyngde i skillekonstruksjoner øke lydisolasjonsevnen både når det gjelder luftlydisolasjon og trinnlydnivå. (Aarstad, Glasø og Bunkholt, 2008)

Det slipte betonggulvet er en hard overflate som reflekterer lyden godt. Samtidig er gulvet i stor grad dekket av møbler og av mennesker som står på det, noe som gjør at denne flaten blir lite avgjørende for den akustiske opplevelsen. Den lyden som reflekteres fra gulvet blir absorbert i bestemte vegger og i himling.



Figur 4.2: Akustikkprinsipp for kirkerommet. Lyd som treffer massivvegg reflekteres, og lyd som treffer spilevegg absorberes.

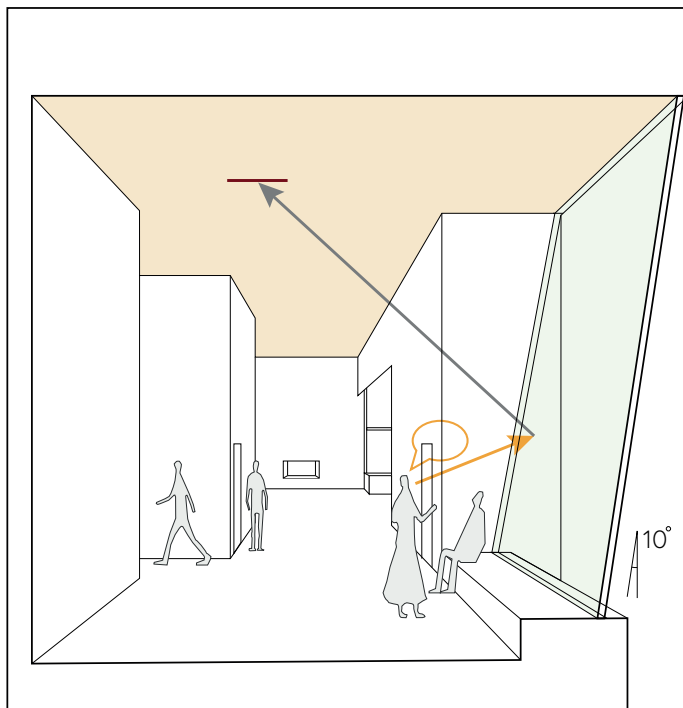
## **Kirkerommet**

I Kirkerommet følger vi prinsippene som er forklart med figur 2.1 og 2.2 og får et rektangulært plan. Konstruksjonen i vegger er massivtre. I den bakre delen, der veggene skal være absorberende, er massivtreet 5-10cm smalere for å gi plass til isolasjon med spiler utenpå. Overflaten på de harde veggene vil da flukte med overflaten på spilene og gi et helhetlig uttrykk.

Isolasjonen og spilene vil fortsette tvers over himlingen og møte spilene på motsatt vegg. Himlingen over den bakerste delen av salen vil på den måten få en absorberende overflate. I den fremste delen av salen vil himlingen nærmest veggene følge samme system med isolasjon og spiler. Resten av himlingen vil være av hardt tre for å reflektere lyden som kommer fra scenen til lytterne som sitter lengst bak.

På begge langsidene er det en søylerekke som avgrenser salen mot en sidefløy i vest og et bønnerom i øst. Bakerst i salen er det et galleri over inngangen. Nisjer i vegger blir ofte brukt i saler for tale da de sprer lyden godt og gir en rask refleks. Det gjør at lyden når frem til bakerste rekke på kort tid. Dette er avgjørende for taleoppfattelse da de fleste konsonanter ligger i høyfrekvensområdet. Lyder av høy frekvens forsvinner raskt, pga absorpsjon eller for lang reisevei. Konsonanter er den viktigste forutsetningen for taleoppfattelse (Ipsen og Rasmussen, 2008, s. 34).

Innredningen i salen, med bl.a. polstrede stoler, reduserer etterklangstiden i rommet. I tillegg kan den gjøres enda mindre med et lag av tekstil, i form av et mekanisk gardin-system. Nedfellbar tekstil trekkes ned og dekker vegger og vindu etter behov.



Figur 4.3: Akustikkprinsipp for foajé. Skråstill vegg reflekterer lyden raskere opp til absorberende himling.

## **Fojé**

Rommet får en absorberende spilehimling mens veggene er harde. Ytterveggen i rommet består av glass og blir derfor den hardeste flaten i rommet. Vi har valgt å la denne veggen helle utover slik at lyd raskere reflekteres opp til himlingen, som absorberer lyden.

Dørene inn mot møtesalen blir godt isolerte.

## **Peisestue**

Veggene er ikke helt parallelle, noe som hindrer lyden fra å sprette frem og tilbake mellom dem. De to største veggflatene i rommet, på sørsiden og østsiden, blir begge kledd med absorberende isolasjon og spiler. Sørveggen vil da absorbere lyden som potensielt kunne reflekteres fra nord, og østveggen absorberer lyden som reflekteres fra vest.

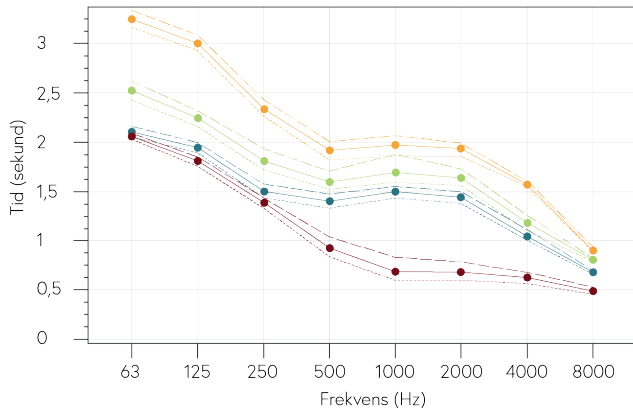
Det er god takhøyde i peisestua, noe som er positivt ved at lyden føres lengre bort. I tillegg er takhøyden enda større på nordsiden. Slike ujevnheter er positive for å bryte opp hvordan lyden beveger seg. Den absorberende spilehimlingen blir den viktigste flaten for å regulere lyden, da mye av lyden blir reflektert oppover.

## **Grupperom og kontorer**

Grupperommene og kontorene vil ha mindre behov for lydabsorbenter da lydnivået er mindre. Møblering og absorberende himling gir en god lydregulering her. Takhøyden i grupperommene er større enn i kontorene da de brukes av flere personer samtidig, mens kontorene som oftest brukes av enkeltpersoner. En stor grunn for støy på kontorer er lyden som beveger seg mellom dem, i konstruksjonen. Massivtreet har gode egenskaper for å hindre overføring av lyd, og vil derfor gi mindre behov for lydisolering.

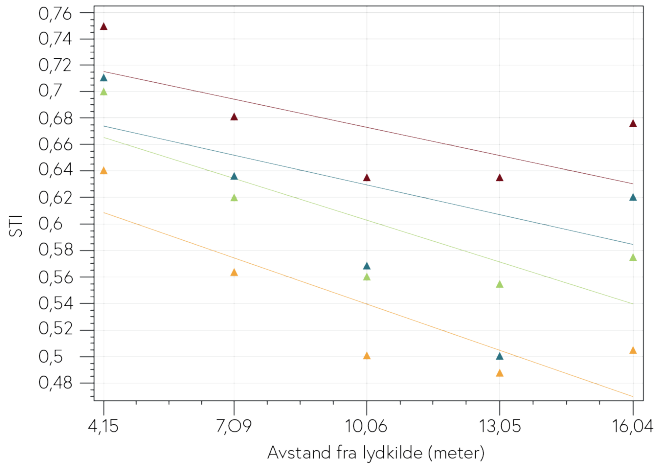
## **Gjenbrukscafé**

I gjenbrukscaféen vil også den viktigste absorberende flaten være himlingen. Møblene i butikken spiller i tillegg en stor rolle for akustikken.

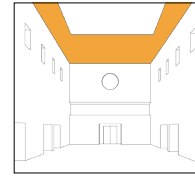


Figur 5.1: Etterklangstid, resultat fra simulering.

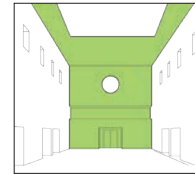
- - - - - Simulert minimum  
 ——— Simulert gjennomsnitt  
 - · - · - Simulert maksimum



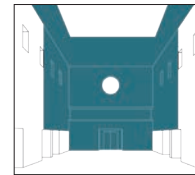
Figur 5.2: Taletydelighet, resultat fra simulering.



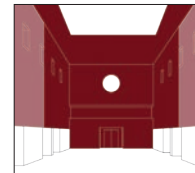
Gul: Simulering der kun himling er lydabsorberende.



Grønn: Simulering der himling og bakvegg er lydabsorberende.



Blå: Simulering der himling, bakvegg og deler av sidevegger er lydabsorberende



Rød: Simulering der himling, bakvegg og deler av sidevegger er lydabsorberende, i tillegg til nedtrekbare tekstiler.



# Lydsimulering av kirkerommet

For å få et grovt innblikk i hvordan akustikken vil bli i kirkerommet, har akustiker Eftevand hjulpet oss med å kjøre 3D modellen av rommet gjennom et simuleringsprogram.

Simuleringen viser 4 forskjellige resultater (figur 5.1). Det første utfallet har kun lydabsorbenter i himling. Det andre har lydabsorbenter i himling + bakvegg. Det tredje utfallet har lydabsorbenter i himling + bakvegg + på sideveggene i den bakerste delen av salen. Den fjerde har i tillegg fått nedfellbar tekstil langs sideveggene. Alle modellene er simulert med møblering i form av medium polstrede stoler.

Det tredje resultatet (blått) gir en etterklangstid på 1,4 sekunder, noe som fungerer bra i sjiktet mellom tale og lydsterk musikk. Det siste resultatet (rødt) viser at tiden reduseres til under 0,9 når gardin-systemet er trukket ned, en svært god verdi for musikkbruken i bygget.

Resultatet fra simuleringen om taletydelighet vises i figur 5.2. Her ser vi at et rommet med absorberende materialer i himling, bakvegg og deler av sidevegger gir god taletydelighet for opptil 14 meter fra lydkilde. Tekstilen på veggene fører til en bedre taletydelighet, som når lengre fra lydkilden. *"Verdier høyere en 0,6 gir rimelig god taleoppfattelse; verdier lavere enn 0,3 gir meget dårlig taleoppfattelse."* (SINTEF Byggforsk, 2004)



# Lydopplevelsen

Kirkerommets brede lydbruk; tale, fellessang, akustisk musikk og forsterket musikk, fører til et behov for fleksibilitet for å kunne få en best mulig opplevelse av rommet. Byggets utforming og materialitet forsøker å legge til rette for best mulige forhold for tale, som står helt sentralt i bruken av bygget. Et ekstra lag, i form av integrert tekstil-løsning, gjør rommet godt egnet for flere typer bruk og lyd.

Akustikk  
Betania: Masteroppgave i arkitektur 2018

Andrea Reinlund Hansen  
02.10.93  
andrea.reinlund@gmail.com  
+47 415 42 272

Marta Elísabet Ingólfssdóttir  
25.02.90  
marta.ingolfsdottir@gmail.com  
+47 984 37 549

Veileder:  
Eileen Garmann Johnsen

# Kilder

Aarstad, J. Glasø, G. og Bunkholt, A. 2008. Massivtre. *Fokus på tre*. Tilgjengelig fra : <http://treteknisk.no/publikasjoner/fokus-pa-tre> (Hentet: 05.05.18)

b+b arkitekter as (2018) *Universitetsaulaen i Bergen* [snitt] Bilde fått av arkitekt Margit Opheim.

Eftevand, M. (2018, vår) *Akustikk i en sal for tale*. Intervjuere: A. R. Hansen og M. E. Ingólfssdóttir

Ipsen, E. og Rasmussen, M. L. (2008) *Akustisk design - Lyden af arkitektur*. Valby: Danoline

Lid, A. B. (2017) *Lovsang under lørdagsgudstjeneste i Betania* [fotografi] Bilde fått av fotograf.

Rindel, I.T. 2016. Jakten på den gode akustikk, NS 8178 - Standard for musikkøverom. *Standard Morgen*. Tilgjengelig fra: <http://docplayer.me/23748055-Ns-8178-standard-for-musikkoverom.html> (Hentet: 9. mars 2018)

SINTEF Byggforsk (2004) 421.402 *Romakustikk og lydisolering, Grunnbegreper*. Tilgjengelig fra: [https://byggforsk.no/dokument/186/romakustikk\\_og\\_lydisolering\\_grunnbegreper](https://byggforsk.no/dokument/186/romakustikk_og_lydisolering_grunnbegreper) (Hentet: 05. mai 2018)

SINTEF Byggforsk (1998) 527.300 *Romakustikk*. Tilgjengelig fra: <https://byggforsk.no/dokument/2595/romakustikk> (Hentet: 28. mars 2018)

Øvrige bilder og illustrasjoner: Andrea Reinlund Hansen og Marta Elísabet Ingólfssdóttir

