

Høytaler for forbedret taleoppfattbarhet

Andreas Gjerstad

Elektronisk systemdesign og innovasjon

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Odd Kr. Pettersen, IET

Medveileder: Olav Kvaløy, Sintef

Arne Vik, HiST

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elektronikk og telekommunikasjon

Oppgavetekst

For mennesker med nedsatt hørsel kan det være vanskelig å oppfatte hva som blir sagt i ulike sammenhenger. Dette gjelder i for eksempel et klasserom, når en ser på tv, eller lignende situasjoner. I denne oppgaven er det ønskelig å bruke høyttaler for å forbedre taleoppfattbarheten. Typiske løsninger har innebygde høyttalere i taket, i bakvegg eller på sideveggene. Denne oppgaven skal isteden studere løsninger med små frittstående høyttalere som kan plasseres ved den person som ønsker det for å øke taleoppfattbarheten.

Da er det noen utfordringer: hvor liten høyttaler kan gi akseptabel gjengivelse av talesignal? Hvilket signalbehandling skal til for å øke taleoppfattbarheten for tenkt person.

Forskjellige parametre for å kvantisere taleoppfattbarheten skal vurderes der Speech Transmission Index (STI) kan være en av kandidatene. Dette er tenkt gjennomført ved objektive undersøkelser og simuleringer, supplementert med subjektive undersøkelser.

Forord

Denne oppgaven er et resultat av en idé fra Arne Vik ved Audiografutdanningen ved HiST. Jeg vil takke Arne for en flott idé som har gitt meg denne givende oppgaven. Jeg vil takke Olav Kvaløy for all veiledning og gode råd han har bidratt med gjennom denne oppgaven. Jeg vil også takke Odd Pettersen som faglærer og Tim Cato Netland for hjelp med utstyr til målinger. Jeg vil til slutt takke alle som stilte opp som testpersoner ved de subjektive undersøkelsene.

Andreas Gjerstad

Trondheim, 10. juni 2014

Sammendrag

I denne oppgaven har det blitt jobbet med en liten høyttaler som skal forbedre taleoppfattbarheten for personer med nedsatt hørsel. Det har blitt sett på signalbehandlingen som skal til for å forbedre taleoppfattbarheten fra en liten høyttaler som skal plasseres i nærheten av en person som trenger dette. Det har blitt laget to filtre for å øke taleoppfattbarheten, et båndpassfilter og et høypassfilter. Disse filtrene har frekvensresponser som har blitt vektet med en vektingsgrad for viktigheten av hvert $1/3$ oktavbånd for gjennomsnittlig tale. Ved hjelp av målinger av STI ble det funnet at høypassfilteret fungerte best for forbedring av taleoppfattbarheten.

Taleoppfattbarheten har i denne oppgaven blitt målt ved hjelp av STIPA-metoden som måler STI. Det ble først gjort målinger i et auditorium med etterklangstid på rundt 0.7 s, hvor det ble undersøkt om den lille høyttaleren forbedret taleoppfattbarheten og hvilket filter som fungerte best. Her kom det frem at det ble en forbedring av taleoppfattbarheten og at høypassfilteret fungerte best. Deretter ble det gjort målinger i et rom med etterklangstid på rundt 1.5 s for å undersøke hvordan taleoppfattbarheten ble påvirket av forskjellige lydnivåer fra den lille høyttaleren. Det kom her frem at forbedringen fra den lille høyttaleren steg med økende lydnivå frem til forbedringen gikk asymptotisk mot et øvre nivå. Maksimal forbedring av STI var her 0.30. Det ble etter dette gjort målinger i et rom med etterklangstid på 3-4 s. Slike rom kan sammenlignes med kirkerom og det ble her undersøkt om dette kan være en løsning for å forbedre taleoppfattbarheten i en kirke. Det ble her gjort målinger med den lille høyttaleren i kirkebenk/skulderhøyde og det ble funnet en forbedring av STI på 0.34. Til slutt ble det gjort subjektive undersøkelser i dette rommet med testpersoner i posisjonen til en bruker av denne høyttaleren, og med testpersoner i nærheten av en som bruker denne høyttaleren. Det ble her gjort målinger på lyttebehag ved økende lydnivå fra den lille høyttaleren. Ved sammenligning med de objektive målingene ble det her funnet at det optimale lydnivået for den lille høyttaleren var på 61.9 dBA, når høyttaleren var plassert i kirkebenk/skulderhøyde.

Målingene og undersøkelsene har vist at denne høyttaleren kan forbedre taleoppfattbarheten og at det er større forbedringspotensial i rom med høyere etterklangstid. Det har også kommet frem at ved høyere lydnivåer, opp til et visst nivå, blir forbedret taleoppfattbarhet større, men ved for høye lydnivåer blir det ubehagelig å høre på.

Abstract

The work in this thesis has been with a small loudspeaker for improved speech intelligibility for individuals with hearing disabilities. The signal processing which is needed to improve the speech intelligibility has been studied here. Two filters were designed for improving the speech intelligibility, a bandpass filter and a highpass filter. These filters have frequency responses that has been weighted with the band importance for average speech.

The speech intelligibility has in this thesis been measured using the STIPA-method, which measures STI. The first measurements were made in an auditorium with a reverberation time of about 0.7 s. Here the improvement of the speech intelligibility from the small loudspeaker was studied and which filter that improved it the most. The results were that the loudspeaker showed some improvements to the speech intelligibility and that the highpass filter improved it the most. The next step was to do measurements in a room with a reverberation time of about 1.5 s. The impact of different intensity levels of the sound on the speech intelligibility was studied here. The results showed that the improvement of the speech intelligibility was getting better for higher levels of sound until it reach an upper border. This upper border showed the maximum of the improvement, which improved the STI with 0.30. The next thing that was done were measurements in a room with a reverberation time of 3-4 s. A room with this reverberation time can be compared to a room in a church, it was here investigated whether this could be a solution to improve the speech intelligibility in a church. Here the STIPA-measurements were done with the small loudspeaker in church-bench/shoulder hight and the results showed an improved STI of 0.34. Finally it was done subjective surveys in this room with test persons to use this loudspeaker, and with the test persons close to one that uses this speaker. It was here made measurements on the pleasure of listening, with increasing sound levels from the small loudspeaker. By comparison with the objective measurements it was found here that the optimum sound level for the small speaker was at 61.9 dBA, when the speaker was placed in the church bench/shoulder height.

The measurements and surveys have shown that this loudspeaker can improve the speech intelligibility and that there is greater potential for improvement in areas with higher reverberation time. It has also emerged that at higher sound levels, up to a certain level, the speech intelligibility improved more, but at high sound levels it becomes uncomfortable for the listener.

Innhold

1	Innledning	1
2	Teori	3
2.1	Romakustikk	3
2.1.1	Etterklangstid	3
2.1.2	Romradie	3
2.2	Speech Transmission Index (STI)	4
2.3	Speech Intelligibility Index (SII)	4
2.4	Frekvensinnholdet i talen	5
2.5	Vektingsgrad for gjennomsnittlig tale	6
2.6	Mean Opinion Score (MOS)	6
3	Forarbeid og filtrering	7
3.1	Forarbeid	7
3.2	Filtrering	8
4	Fremgangsmåte for målinger og subjektive undersøkelser	11
4.1	Målinger i El-3	11
4.2	Målinger i akustikkhallen	13
4.3	Målinger i lydrom 3	15
4.4	Subjektive undersøkelser	17
5	Resultater fra målinger og subjektive undersøkelser	19
5.1	Målinger i El-3	19
5.2	Målinger i akustikkhallen	21
5.3	Målinger i lydrom 3	23
5.4	Subjektive undersøkelser	26
6	Diskusjon	29
6.1	Filtervalg	29
6.2	Virkingen av etterklang på taleoppfattbarheten	29
6.3	Viktigheten av plassering av liten høyttaler for forbedret taleoppfattbarhet	30
6.4	Subjektive undersøkelser	31

6.5	Optimale lydnivåer fra den lille høyttaleren	32
6.6	Videre arbeid	32
7	Konklusjon	35
8	Vedlegg	39
8.1	Utstyr	39
8.2	Frekvensrespons og direktivitet fra målingene på Music Angel Friendz	40
8.3	Matlabkode for båndpassfilter og høypassfilter	41
8.4	Skjemaer for subjektive undersøkelser	43

1 | Innledning

I dagens samfunn finnes det mange forskjellige typer hørselstap og det er mange som lider av dette. Spesielt eldre mennesker opplever at hørselen blir dårligere med alderen, for disse er det gjerne de høyere frekvensene som blir vanskeligere å oppfatte. Nedsatt hørsel kan komme av skader på det indre øret, det kan være medfødt, eller det kan skyldes slitasje over tid, noe som ofte er tilfellet hos de eldre. Nedsatt hørsel kan skape problemer i en rekke scenarioer hvor det er essensielt å oppfatte hva som blir sagt. Dette kan være i en forelesning, i et klasserom, eller ulike situasjoner hvor en høyttaler blir brukt til formidling av informasjon. En slik høyttaler kan også bidra til å minke stigmatiseringen som kan oppstå ved bruk av ulike typer høreapparater.

Dette problemet har blitt tatt tak i av Arne Vik som har en idé til en bordhøyttaler for forbedret taleoppfattbarhet. Det har tidligere blitt forsøkt realisert en prototype av denne i en bacheloroppgave [8]. Dette ble en for stor oppgave for de som jobbet med dette så denne er fortsatt ikke blitt realisert.

I denne oppgaven skal signalbehandlingen for å øke taleoppfattbarheten fra denne høyttaleren undersøkes, og det skal gjøres målinger på det som blir konstruert. I tillegg til målingene skal det gjøres subjektive undersøkelser som skal supplere disse objektive målingene.

Her skal det først gjøres undersøkelser på om det finnes noen lignende produkter, eller om dette er en original idé. Så må det vurderes hva slags høyttaler som skal brukes som prototyp til objektive målinger og subjektive undersøkelser. Signalbehandlingen fra denne høyttaleren blir gjort ved å lage filtre i Matlab, for så å vurdere hvilket som fungerer best ved målinger og teoretisk fakta om taleinformasjonen. Når dette er gjort skal det gjøres målinger av taleoppfattbarheten for å se hvor mye denne kan forbedres med høyttaleren og signalbehandlingen som blir brukt her. Det blir gjort målinger av taleoppfattbarheten i ulike situasjoner for å finne optimale løsninger og ulike bruksområder. Her blir det sett på målinger i rom med ulik etterklangstid for å se hvordan dette påvirker taleoppfattbarheten. I disse forskjellige rommene blir det gjort målinger i ulike posisjoner for høyttaleren i forhold til måleinstrumentet. Til slutt skal det gjøres subjektive undersøkelser for å se på lyttebehaget ved bruk av en slik høyttaler. Her blir det sett på lyttebehaget for en potensiell bruker og en person som sitter i nærheten av brukeren.

2 | Teori

2.1. ROMAKUSTIKK

Her følger ulike akustiske parametere for å kartlegge egenskapene til et rom. Disse parameterne blir brukt som utgangspunkt for målingene og de påvirker hvordan, og hvor i rommet målingene skal gjøres.

2.1.1. ETTERKLANGSTID

Etterklangstiden, T_{60} , er definert som tiden det tar før lydtrykket fra en lydkilde i et rom har sunket med 60 dB etter at lydkilden har blitt slått av. Matematisk kan etterklangstiden beskrives ved Sabines formel, hvor volumet til rommet er gitt av V og den totale akustiske absorpsjonen er gitt av A :

$$T_{60} = 0.161 \frac{V}{A} \quad (2.1)$$

Dette betyr at etterklangstiden øker når størrelsen på rommet øker, eller absorpsjonsarealet synker. Når størrelsen på rommet minker, eller absorpsjonsarealet øker vil etterklangstiden bli kortere.

Mange måleinstrumenter regner ut tiden det tar for lydtrykket å synke 20 og 30 dB, for deretter å estimere etterklangstiden ut i fra dette. Etterklangstiden blir da beskrevet som T_{20} og T_{30} . [1, Kap. 12.3]

2.1.2. ROMRADIE

Romradien er avstanden i meter fra lydkilden til det punktet hvor lydstyrken fra lydkilden har sunket ned til nivået til det diffuse feltet i rommet. Denne avstanden er gitt av (2.2), hvor c_0 er lydhastigheten i luft. [9, s 125]

$$r_H = \sqrt{\frac{55.26 V}{16\pi c_0 T_{60}}} \quad (2.2)$$

2.2. SPEECH TRANSMISSION INDEX (STI)

STI er en objektiv metode for å tallfeste kvaliteten på transmisjonen av tale over en kommunikasjonskanal. Denne metoden er basert på vektete bidrag fra et gitt antall oktavbånd, 125 - 8k Hz, hvor hvert oktavbånd har en egen vektingsfaktor. I denne metoden blir et spesifikt testsignal brukt på kommunikasjonskanalen, og transmissjonskvaliteten blir utledet fra en analyse av det mottatte signalet. På mottakersiden av kommunikasjonskanalen blir det effektive signal-støyforholdet i hvert oktavbånd utregnet og brukt i kalkuleringen av STI. Signals-støyforholdet blir påvirket av flere faktorer, hvor de viktigste er bakgrunnsstøy, forvrengninger i tidsdomenet og ulineariteter. Det er blant annet disse faktorene som det har blitt tatt hensyn til i designet av testsignalet, som består av et støysignal med et frekvensspekter likt langtids-spekteret til talen. Hvert oktavbånd i testsignalet er modulert med et peridisk signal slik at intensitetsenvelopen er modulert som et sinussignal.

Resultatet av analysen har en verdi mellom 0 og 1, og har en kvalitetsgradering som følger av tabell 2.1.

Tabell 2.1: STI-gradering

Gradering	STI
Excellent	0.75-1
Good	0.60-0.75
Fair	0.45-0.60
Poor	0.30-0.45
Bad	0-0.30

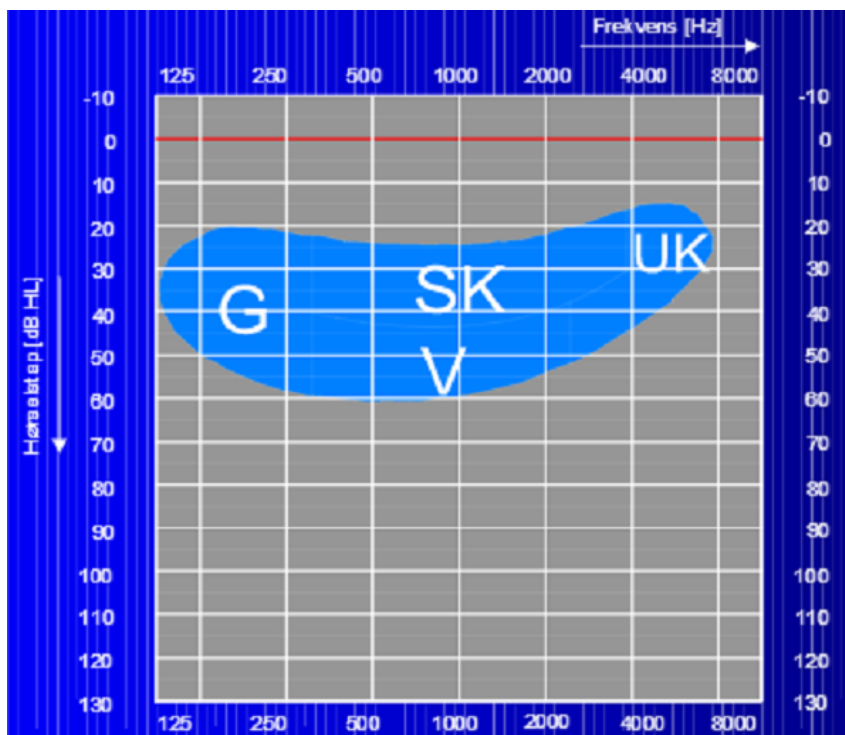
En forenklet versjon av STI metoden som kan benyttes med et håndholdt måleinstrument og som har en prosesseringstid på 15s kalles for STIPA metoden (Speech Transmission Index for Public Address systems). Her er testsignalet forenklet ved å utelate tale lignende modulasjoner, som er nødvendige for å få en korrekt tolkning av ulineære forvrengninger. Dette åpner for parallell prosessering av alle frekvensbåndene, og dermed synker prosesseringstiden. [5]

2.3. SPEECH INTELLIGIBILITY INDEX (SII)

SII er en metode for å måle taletydeligheten ved forskjellige ugunstige lytteforhold. SII blir beregnet fra akustiske målinger eller estimater av talespektrumsnivå, fra støyspektrumsnivå, og fra psykoakustiske målinger eller estimater av hørselsterskel. Forskjellige frekvenser bidrar i ulik grad til taletydeligheten, og et høyere tale-til-støy forhold bidrar til tydelighet. Hvert frekvensbånd har en egen vektningegrad som blir brukt i utregningen av SII. Ved å måle tale-til-støy forholdet i hvert av frekvensbåndene og legge disse sammen vil taletydeligheten til kommunikasjonssystemet bli fastsatt. [2]

2.4. FREKVENSIINNHOLDET I TALEN

I mennesketalen ligger ulike deler av informasjonen ved ulike frekvenser og er delt inn som vist i figur 2.1. Denne figuren er kjent som talebananen og konsonantene er spesielt viktige for taleoppfattbarheten. Hvis frekvensbånd med viktig informasjon blir maskert vil ikke mottakeren forstå hva som blir sagt. For personer med ulike typer hørselstap vil informasjon gå tapt ved at de ikke klarer å oppfatte deler av dette talespekteret, signalet kan dermed oppfattes forvridd og ugjenkjennelig. Når personer blir eldre er det vanlig at hørselen blir svekket og at det er vanskeligere å oppfatte diskanten, de høyeste frekvensene i talen. Dette gjelder normalt personer over 50 år. [1, Kap: 11] [12]



Figur 2.1: Det blå område merket av i figuren kalles talebananen, denne viser hvordan innholdet i talen er fordelt i forhold til frekvens og styrke av hørselstap. G=Grunntone, V=Vokaler, SK=Stemte Konsonanter, UK=Ustemte Konsonanter. [7]

2.5. VEKTINGSGRAD FOR GJENNOMSNIITTLIG TALE

Tabell 2.2 viser vektingsgraden til hvert 1/3 oktavbånd for gjennomsnittlig tale, og legges disse sammen blir resultatet 1. Dette er verdier som fungerer utmerket til bruk i generelle målemetoder for taleoppfattbarhet. [10, Tabell II]

Tabell 2.2: Vektingsgrad for gjennomsnittlig tale ved 1/3 oktavbånd

Oktavbånd	Vektingsgrad
160	0.0083
200	0.0095
250	0.0150
315	0.0289
400	0.0440
500	0.0578
630	0.0653
800	0.0711
1000	0.0818
1250	0.0844
1600	0.0882
2000	0.0898
2500	0.0868
3150	0.0844
4000	0.0771
5000	0.0527
6300	0.0364
8000	0.0185

2.6. MEAN OPINION SCORE (MOS)

MOS er en test som har vært brukt til å gjøre subjektive brukertester av kvaliteten på telefonlinjer. Testen blir utført ved at lytteren rangerer kvaliteten på noe som blir lest opp over en kommunikasjonslinje. MOS viser det aritmetiske gjennomsnittet av resultatet fra testpersonene og går fra 1, verst, til 5, best. Tabell 2.3 viser skalaen som blir brukt. [6] [12]

Tabell 2.3: Mean Opinion Score

Score, MOS	Quality of the speech
5	Excellent
4	Good
3	Fair
2	Poor
1	Bad

3 | Forarbeid og filtrering

Dette kapitlet er bygd opp ved at det først blir sett på startfasen, hvor det blir sett på valg som fikk konsekvenser for senere arbeid. Det blir så sett på filterarbeidet som er gjort i Matlab.

3.1. FORARBEID

Det første som ble gjort i denne oppgaven var å undersøke om det tidligere var laget et lignende produkt, eller om det fantes noe informasjon tilgjengelig rundt dette. Her ble det ikke funnet noen lignende produkter og det virker derfor som dette er en original idé, noe som ga et godt utgangspunkt for det videre arbeidet.

Videre ble det undersøkt hvordan taleoppfattbarheten skulle måles, her ble det sett på to metoder for å måle dette, STI og SII. Da formålet med denne oppgaven var å måle hvor mye en liten høyttaler kunne forbedre taleoppfattbarheten ved å bruke signalbehandling på den lille høyttaleren, var det essensielt å kunne måle på transmisjonen av et signal gjennom denne høyttaleren. Dette førte til at STI ble foretrukket da denne kan måles med et testsignal som sendes gjennom systemet og som måler taleoppfattbarheten over kommunikasjonskanalen.

Høyttaleren som ble valgt som prototype for det tenkte produktet var en Music Angel Friendz. Dette er en liten stereo høyttaler og var den beste høyttaleren som passet til dette formålet. Frekvensresponsen til denne høyttaleren ble undersøkt for å se om denne kunne ha innvirkning på frekvensresponsen til signalet ut av høyttaleren etter signalbehandlingen var gjort. Det måtte derfor gjøres målinger på denne høyttaleren og siden dette var gjort tidligere i en prosjektoppgave [3], ble målefilene fra denne oppgaven brukt for å undersøke dette. Filene inneholdt frekvensrespons/impulsrespons-målinger i fritt felt og på plate, og med ett og to elementer. Det var også gjort målinger på direktiviteten til høyttaleren. Her ble det sett på målingene gjort med ett element på plate, siden dette var bruken som var tiltenkt den lille høyttaleren under målingene senere. Etter å ha vurdert frekvensresponsen for ulike vinkler ble denne vurdert som god nok. Frekvensresponsen var relativt flat fra 350 - 4000 Hz og ved høyere frekvenser hadde direktiviteten mye å si for variasjoner i frekvensresponsen. For å gjøre den helt flat trengtes veldig høy filterorden, noe som ville gitt veldig skarpe kanter på frekvensresponsen og dette ville gjort store utslag ved små endringer av direktivitet.



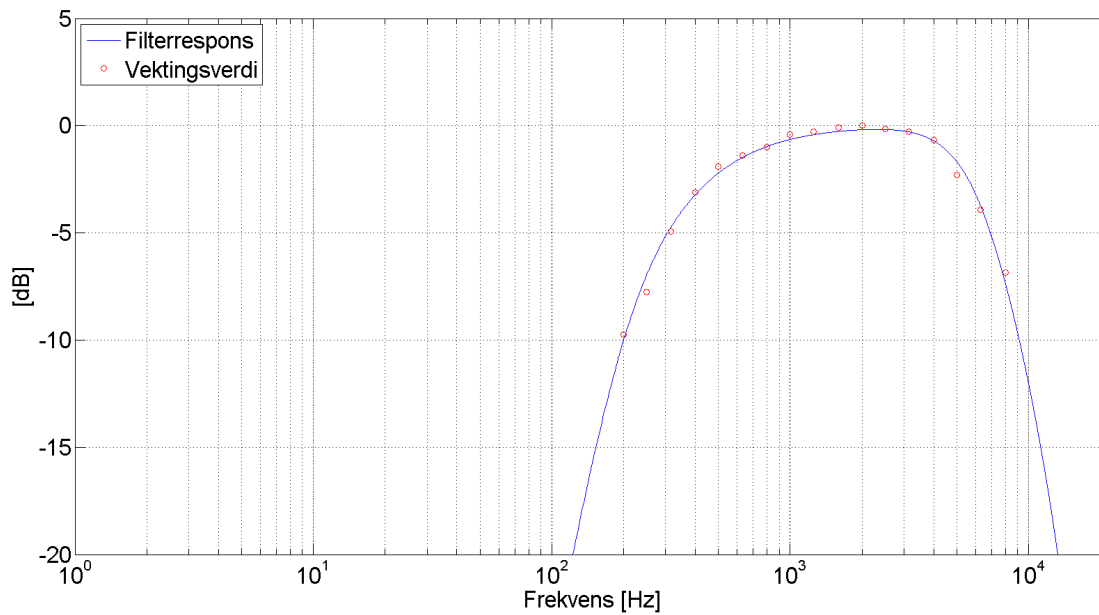
Figur 3.1: Illustrasjonsfoto av Music Angel Friendz.[11]

3.2. FILTRERING

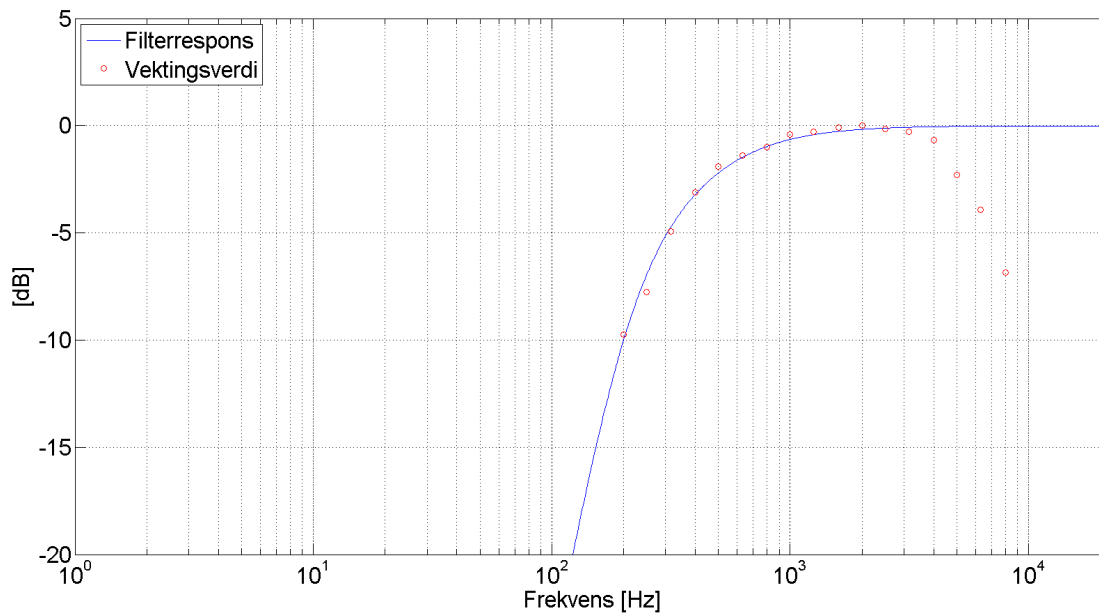
Høytaleren som skal være det ferdige produktet skal være så liten som mulig og samtidig gi en god lyd. For å gjøre dette mulig var det nødvendig å filtrere signalet slik at det ble lagt vekt på å øke taleoppfattbarheten. Det har derfor blitt laget filtre i Matlab som filtrerer inngangssignalet slik at målingene som blir gjort er relevante for det tenkte produktet.

For å få en så liten høyttaler som mulig som kan forbedre taleoppfattbarheten til en med nedsatt hørsel, var det viktig å begrense frekvensspekteret til høyttaleren. Dette ble gjort ved å lage filtre som kunne filtrere bort de laveste frekvensene, og dermed gi en diskant høyttaler. En diskant høyttaler kan være liten og det er i de øvre frekvensene den viktigste informasjonen for å forstå tale ligger. Ved de øvre frekvensene, 1000 - 8000 Hz, ligger konsonantlydene, og det er spesielt de ustemte konsonanten i det øvre sjiktet av denne skalaen som er viktig for taleoppfattbarheten. Med bakgrunn i denne frekvensinformasjonen og vektingen av viktigheten til taleinformasjonen for hvert 1/3 oktavbånd gitt av tabell 2.2, ble det laget filtre i Matlab.

Filtrene som ble laget her var et båndpassfilter og et høypassfilter. Det er valgt å bruke filtre av lav orden siden en da får en glatt filterrespons og filteret blir dermed lettere å realisere analogt. Båndpassfilteret er satt sammen av to høypassfiltre og ett lavpassfilter, med orden 1, 2 og 2. Høypassfilteret er det samme som båndpassfilteret, men uten lavpassdelen. Filtrene ble laget ved å normalisere vektingsverdiene fra tabell 2.2 til verdier mellom 0 og 1, slik at verdien fra det viktigste båndet fikk verdien 1. Deretter ble disse verdiene regnet om til dB og plottet som en mal for frekvensresponsen for båndpassfilteret. Frekvensresponsen til båndpassfilteret ble tilpasset formen til vektingskurven ved å sende frekvensresponsen til en deltapuls gjennom filteret. Denne deltapulsen vil i frekvensdomenet ha verdien 1 for alle frekvenser og



Figur 3.2: Filterresponsen for båndpassfilteret brukt på den lille høyttaleren plottet sammen med vektingsverdiene for hvert 1/3 oktavnband.



Figur 3.3: Filterresponsen for høypassfilteret brukt på den lille høyttaleren plottet sammen med vektingsverdiene for hvert 1/3 oktavnband.

det er dermed mulig å manuelt tilpasse filteret til vektingskurven på denne måten. Filterresponsen er tilpasset slik at det er under 1 dB avvik mellom vektingsverdi og filterresponsverdi ved hver senterfrekvens. Resultatet av filterresponsene for

båndpass- og høypassfilteret er vist sammen med vektingsverdiene i figur 3.1 og 3.2. Matlabkoden for disse filtrene ligger i Vedlegg 8.3.

4 | Fremgangsmåte for målinger og subjektive undersøkelser

I denne oppgaven har det blitt utført både objektive og subjektive målinger med en liten testhøytaler av type Music Angel Friendz med filtre laget i Matlab. Målingene har blitt utført for å finne mulig forbedring av taleoppfattbarheten målt med STI ved ulike omgivelser for denne høytaleren. Dette kapitlet omhandler hvordan det er gått frem for å få til dette.

4.1. MÅLINGER I EL-3

De første målingene som ble utført var målinger av STI for å undersøke taleoppfattbarheten ved bruk av filtrene som var laget. Målingene ble gjort i EL-3 i elektrobygget på NTNU, dette auditoriet ble valgt siden det var stort og kunne være et aktuelt auditorium for bruk av det tenkte produktet.

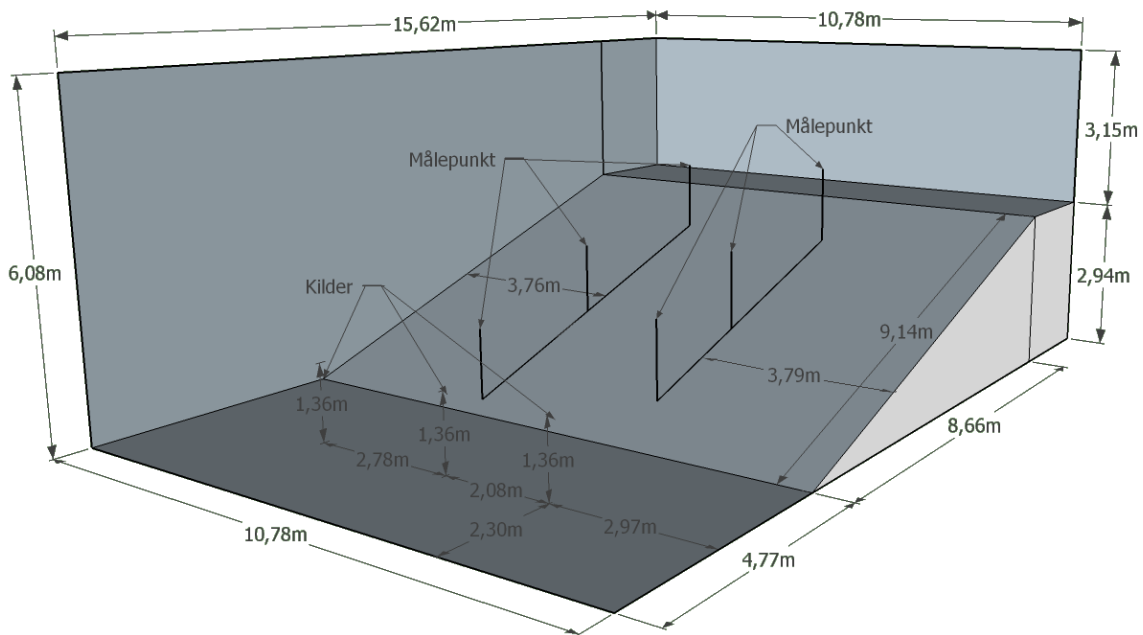
ETTERKLANGSTID

For å utføre taleoppfattbarhetsmålinger (STIPA) i EL-3 var det nødvendig å kartlegge auditoriet ved å måle etterklangstiden og regne ut romradien. Målingene av etterklangstiden ble utført ved hjelp av en lydmåler, Norsonic Nor140, og ballonger, utstyrliste er gitt i tabell 8.1. Det ble gjort målinger med tre lydkildeposisjoner og seks måleposisjoner. Kildeposisjonene ble valgt fremme i auditoriet siden det er der lyden er ment å komme fra ved ideelt bruk av auditoriet. Måleposisjonene ble plassert blant setene i skråplanet i auditoriet, både kilde- og måleposisjonene er vist i figur 4.1.

Målingene ble utført ved at måleinstrumentet var plassert i en av måleposisjonene og var stilt inn til å oppfatte en impulslyd. For at målingene skulle være gode nok i et stort auditorium måtte det brukes en kildelyd med en god impulslyd. Det ble derfor valgt å bruke ballonger som ble sprukket med en spiss metallbit. Når måleinstrumentet mottok impulslyden startet målingen av etterklangstiden og målingen varte i ca 15 sekunder. Måleinstrumentet bruker T_{20} og T_{30} når den regner ut etterklangstiden for de oktavbåndene som er gitt. I denne måleserien er det valgt å bruke 1/3 oktavbånd og etterklangstidene er gitt av T_{30} .

Ut i fra etterklangstiden ble romradien beregnet for hvert 1/3 oktavbånd, dette ble gjort ved hjelp av formel (2.2). Romradien var nødvendig da det var ønskelig å

plassere høyttaleren for forbedret taleoppfattbarhet utenfor romradien i forbindelse med STIPA-målingene.



Figur 4.1: Måleposisjoner for etterklangstidmålingene i EL-3.

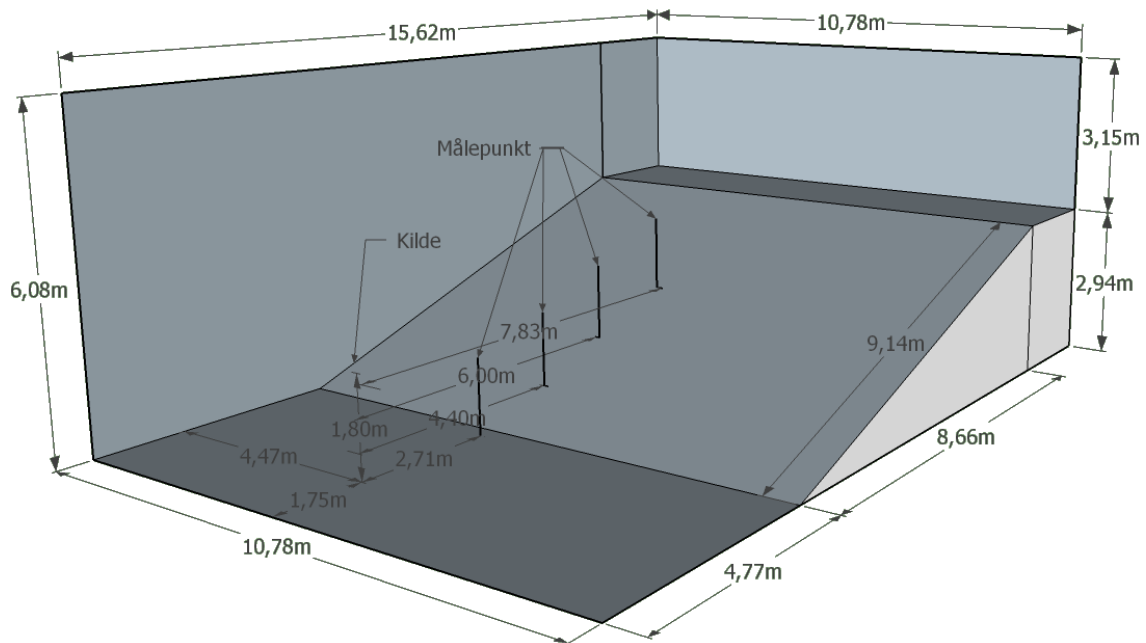
STIPA-MÅLINGER

Målingene av STI ble utført for å finne ut hvordan en liten høyttaler i nærheten av lytteren ville påvirke taleoppfattbarheten. Dette ble utført i EL-3 ved hjelp av lydmåleren fra Norsonic, en kildehøyttaler og en liten høyttaler i nærheten av måleinstrumentet, alt utstyret er gitt i tabell 8.2. Kildehøyttaleren ble plassert fremme i auditoriet hvor det er antatt at lydkilden vil være i en forelesning, mens den lille høyttaleren og måleinstrumentet ble plassert i ulike avstander fra kilden gitt av figur 4.2. Disse avstandene ble valgt utenfor romradien for at bidraget fra kilden skulle være omtrent den samme ved alle avstandene. Siden den lille høyttaleren var en stereo høyttaler ble bare det ene elementet brukt, dette elementet var plassert liggende på bordflaten rettet mot måleinstrumentet. Måleinstrumentet var plassert i ørehøyde på en sittende person rett bak bordflaten slik at det ble en avstand på 47 cm ned og 25 cm bort i forhold til den lille høyttaleren. Det ble brukt en måle-pc med lydprogrammet Audacity som var koblet opp til et eksternt lydkort i målingene.

Audacity ble brukt til å koble lydfilene til hver sin kanal slik at kildehøyttaleren og den lille høyttaleren kunne spille av to forskjellige signaler samtidig. Lydkortet med tilhørende program på måle-pcen ble brukt for å stille inn forsterkning på kanalene. Fra det eksterne lydkortet var venstre kanal koblet til kildehøyttaleren, mens høyre var koblet til den lille høyttaleren. STIPA-lydsignalet som ble brukt var hentet fra en CD som fulgte med måleinstrumentet. Lydsignalet som ble koblet til kildehøyttaleren var det originale STIPA-signalet, mens lydsignalet koblet til den

lille høyttaleren var filtrerte versjoner av STIPA-signalet. For hver måleposisjon ble det gjort tre målinger: 1. Bare kilde. 2. Kilde og båndpassfiltrert STIPA-signal. 3. Kilde og høypassfiltrert STIPA-signal.

Under målingene skulle lydnivået fra lydkilden være 60 dBA 1m fra kilden, eller 66 dBA 0,5m fra kilden. Lydnivået til den lille høyttaleren ble satt til å være tilnærmet lik (under 1 dB avvik) lydnivået fra kilden i måleposisjon. Resultatene fra disse målingene ble brukt for å se om den lille høyttaleren hjelper taleoppfattbarheten, og det ble sett på hvilket av filtrene som ga best resultat. Fremgangsmåten for å gjøre STIPA-målinger med Norsonic Nor140 som er brukt her står beskrevet i [4].



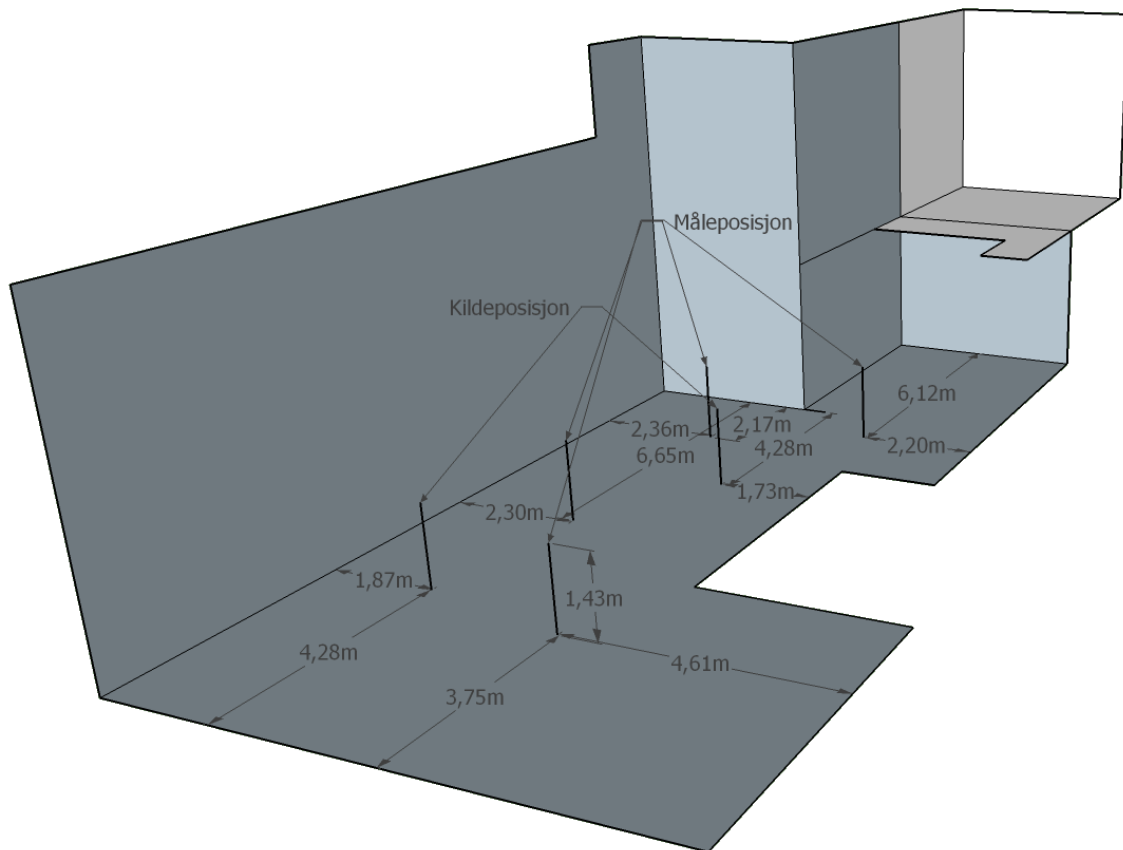
Figur 4.2: Måleoppsett for STIPA-målingene i EL-3.

4.2. MÅLINGER I AKUSTIKKHALLEN

Etter at måleresultatene fra EL-3 hadde blitt analysert ble det valgt å gjøre målinger i akustikkhallen i elektrobygget på NTNU. Akustikkhallen ble valgt på bakgrunn av at det der er høyere etterklangstid og at det dermed antageligvis vil gi en lavere kilde-STI, noe som gir større grunnlag for forbedring. Her skulle det gjøres målinger på STI for ulike lydstyrker fra den lille høyttaleren. Dette ble gjort for å finne ut hvor mye den kunne forbedre STI og hvor høy lydstyrke som måtte til for å få til en god forbedring av STI.

Det ble først gjort målinger av etterklangstid og utregninger av romraden for akustikkhallen. Dette ble gjort med samme fremgangsmåte og utstyr som i EL-3, og måleoppsettet med kilde- og måleposisjoner er vist i figur 4.3.

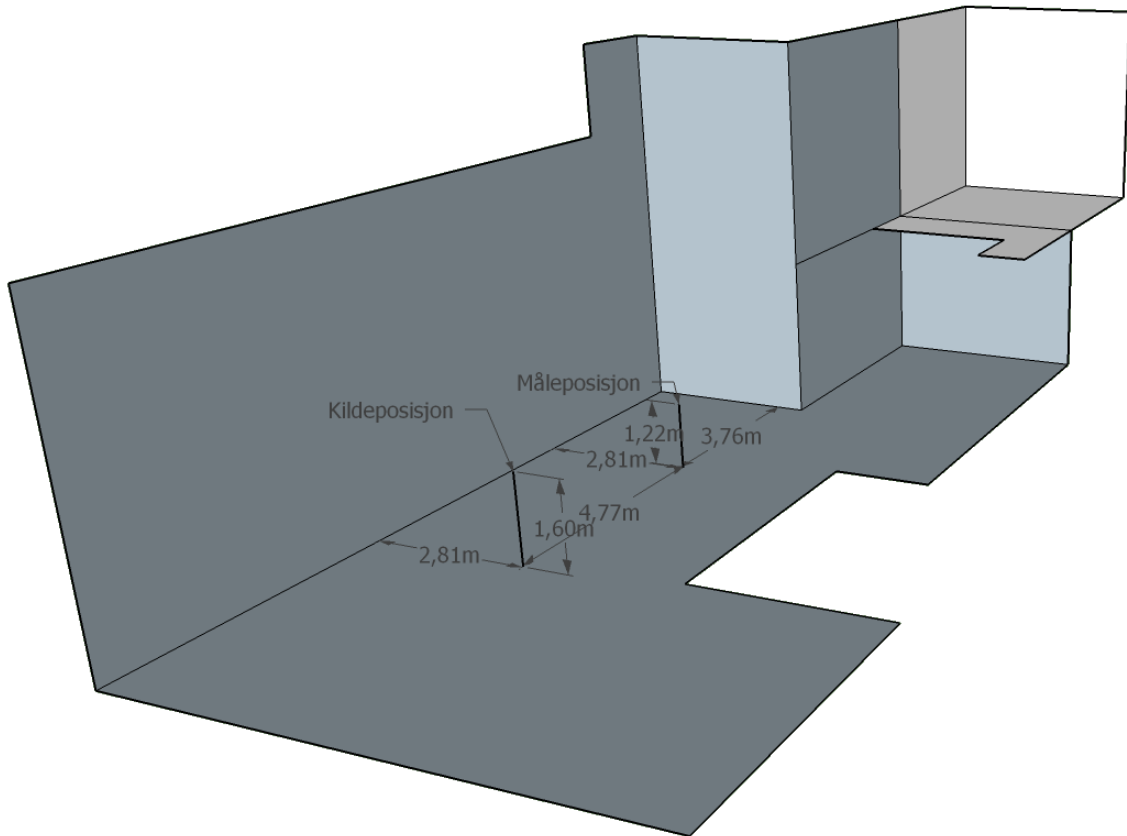
Det ble så gjort STIPA-målinger i akustikkhallen. Utstyret her er det samme som ble brukt i EL-3 og fremgangsmåten for å gjøre STIPA-målinger er den samme som



Figur 4.3: Måleoppsett for etterklangstidmålingene i akustikkhallen.

beskrevet tidligere. Her ble det valgt ut en avstand mellom kilde og måleinstrument på 4.77 m, som vist i figur 4.4 av måleoppsettet. Denne avstanden ble valgt godt utenfor romradien og posisjonene ble valgt relativt sentralt i hallen. Siden det var høypassfilteret som ga best resultat i de første målingene er dette brukt videre. Det ble først gjort en måling av kilden alene for å få en nedre grense for STI i hallen. Deretter ble lydkortet brukt til å sette lydstyrken fra den lille høyttaleren lik lydstyrken fra kilden uten liten høyttaler, innenfor 1 dB avvik. Den lille høyttaleren var her plassert i liggende stilling rettet mot måleinstrumentet, med en avstand på 52 cm ned og 45 bort, mens måleinstrumentet var plassert i ørehøyde i forhold til bordet. Målingene ble gjort med 5 dB økning på lydstyrken for den lille høyttaleren til den nådde sitt maksimale. For så å gjøre målinger fra utgangspunktet og med 5 dB demping av lydstyrken til STI-verdiene var dominert av kilden.

Etter dette ble de samme målingene gjort for den lille høyttaleren i en stående posisjon, slik at det elementet som var i bruk pekte rett opp. Dette ble utført for å se hvilke utslag direktiviteten hadde på resultatene. I tillegg ble det også gjort en måleserie med den lille høyttaleren liggende 20 cm høyere for å finne ut hvor mye STI forbedrer seg når den lille høyttaleren kommer nærmere måleinstrumentet.

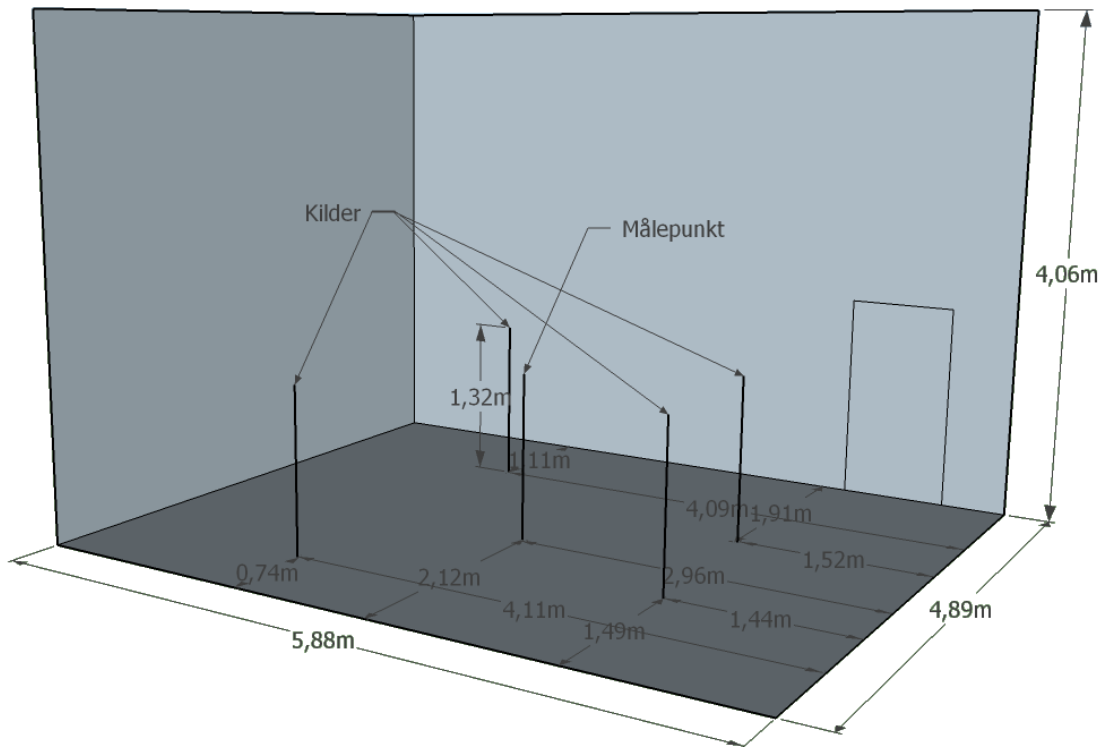


Figur 4.4: Måleoppsett for STIPA-målingene i akustikkhallen.

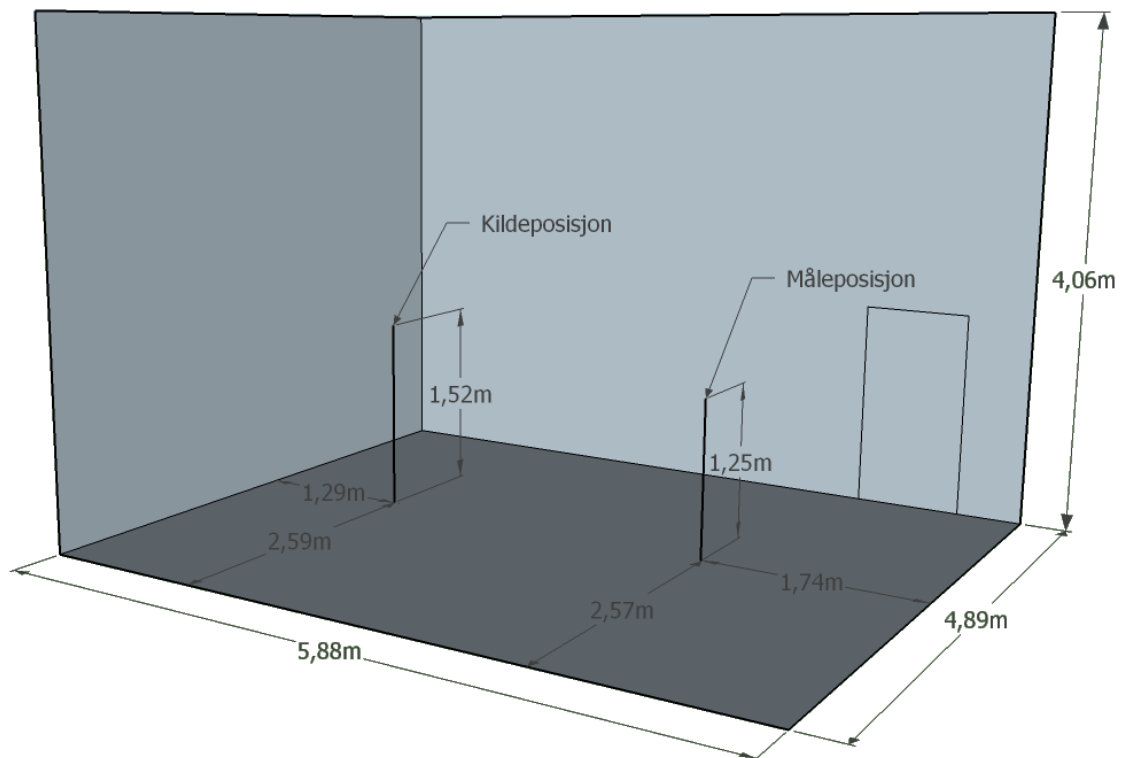
4.3. MÅLINGER I LYDROM 3

Etter at målingene fra akustikkhallen var analysert ble det aktuelt å finne et rom med lengre etterklangstid for å se hva slags utslag det ville gjøre på STIPA-målingene. Det mest aktuelle rommet tilgjengelig var lydrom 3 som ligger i kjelleren under akustikkhallen. Dette rommet har flate harde vegger og er kjent for høy etterklangstid. Her ble etterklangstiden målt med det samme utstyret og fremgangsmåte som ved de tidligere målingene, og romradien ble utregnet som tidligere. Måleoppsettet for etterklangstidmålingene er vist i figur 4.5.

I dette rommet ble det gjort flere STIPA-målinger med ulike plasseringer av den lille høyttaleren. Målingene ble gjort på samme måte som tidligere og måleoppsettet er vist i figur 4.6. Det ble gjort målinger med den lille høyttaleren i stående og liggende posisjon slik som i akustikkhallen, men her ble det gjort målinger i to forskjellige posisjoner. Det ble gjort både stående og liggende målinger i henholdsvis posisjon 52 cm ned og 48 cm bort, og 52 cm ned og 25 cm bort i forhold til måleinstrumentet. Begge disse posisjonene er i bordhøyde med den ene 23 cm lengre vekk fra måleinstrumentet enn den andre posisjonen. Måleinstrumentet var også her plassert i ørehøyde. Selve målingene ble utført på samme måte som i akustikkhallen hvor det var lydstyrken som ble justert.



Figur 4.5: Måleoppsett for etterklangstidmålingene i lydrom 3.



Figur 4.6: Måleoppsett for STIPA-målingene i lydrom 3.

Analysen av etterklangstiden viste at dette rommet hadde etterklangstid som kunne sammenlignes med et kirkerom. Det ble derfor gjort STIPA-målinger i kirkebenkshøyde/skulderhøyde for å se om det var et aktuelt bruksområde for en liten høyttaler for forbedret taleoppfattbarhet. Posisjonene for disse målingene var 30 cm over de to posisjonene brukt i bordhøyde, altså 22 cm under målehøyden. Disse målingene ble utført på samme måte som målingene i bordhøyde.



Figur 4.7: Bilde av måleoppsettet i lydrom 3 for STIPA-måling med den lille høyttaleren i stående posisjon, 25 cm i horisontal avstand fra måleinstrumentet.

4.4. SUBJEKTIVE UNDERSØKELSER

I tillegg til de objektive målingene var det aktuelt å gjøre subjektive undersøkelser for å finne ut hvordan personer opplevde bruken av en høyttaler for forbedret taleoppfattbarhet. Her ble det gjort undersøkelser med testpersoner som brukte høyttaleren og testpersoner som var i nærheten av personen som brukte den. Det ble fokusert på lyttebehag i undersøkelsene og det ble samlet inn ulike kommentarer rundt det testpersonene hadde vært gjennom. De subjektive undersøkelsene ble utført i lydrom 3 for å undersøke om dette var en mulig løsning å bruke i et kirkerom. Det ble brukt 5 testpersoner til begge undersøkelsene og utstyret som ble brukt var det samme som ved STIPA-målingene. Alle testpersonene var masterstudenter ved studieprogram-

met Elektronisk systemdesign og innovasjon ved NTNU, og ingen av testpersonene hadde noen form for nedsatt hørsel.

De første subjektive undersøkelsene ble utført med testpersoner i lytteposisjon, denne lytteposisjonen var den samme som måleposisjonen i STIPA-målingene fra lydrom 3. Kilden var også plassert likt som ved STIPA-målingene vist i figur 4.6. Plasseringen av den lille høyttaleren ble her valgt å være i den posisjonen som ga best forsterkning av STI fra STIPA-målingene i dette rommet. Derfor ble høyttaleren plassert i kirkebenkhøyde/skulderhøyde med en horisontal avstand fra lytteren på 25 cm. For sammenligning ble det også gjort undersøkelser med høyttaleren plassert stående i bordhøyde med samme avstand.

Undersøkelsen med testpersonene i lytteposisjon ble gjort ved å spille av et lyd-signal fra kilden med en lydstyrke som ga omtrent 60 dBA, målt til 60.1 dBA, en meter fra lydkilden. Denne lydstyrken ble valgt siden dette er omtrent lydstyrken til vanlig tale. Lydnivået fra kilden i lytteposisjonen ble målt med måleinstrumentet Norsonic Nor140 over 10 sekunder og ble 56.4 dBA. Den lille høyttaleren ble stilt inn til å treffe dette lydnivået i lytteposisjon med et avvik innenfor 1 dBA, og ble målt til 56.9 dBA. I undersøkelsen ble det brukt 6 lydnivåer for hver høyttalerposisjon. Disse lydnivåene har hopp på 5 dBA fra -10 til +15 i forhold til det målte lydnivået, og er vist i tabell 4.1.

Tabell 4.1: Lydnivåer brukt i subjektive undersøkelser

46.9 dBA	51.9 dBA	56.9 dBA	61.9 dBA	66.9 dBA	71.9 dBA
----------	----------	----------	----------	----------	----------

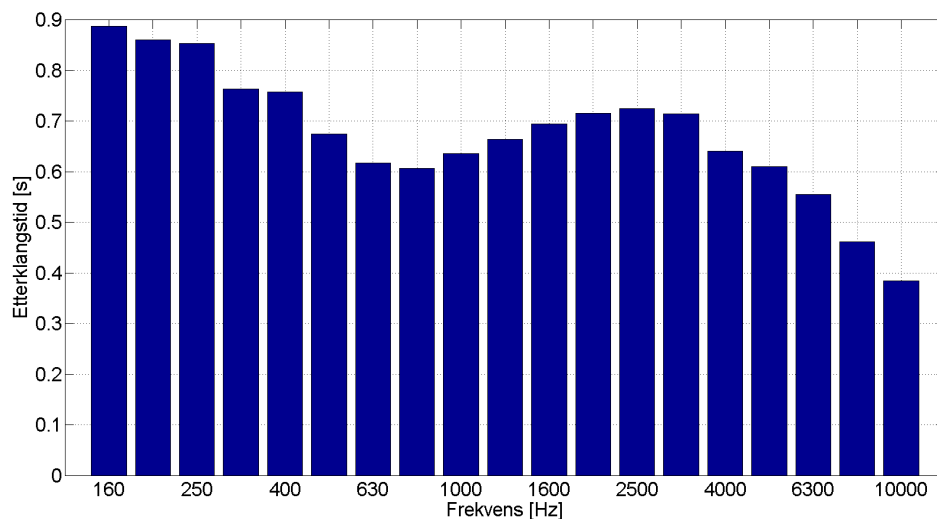
For hvert lydnivå skulle testpersonene krysse av for hvordan de opplevde det de hørte. Skjemaet som ble brukt i undersøkelsene var laget med bakgrunn i Mean Opinion Score beskrevet i kap. 2.6, og alternativene er vist i vedlegg 8.4, tabell 8.3. Lydsignalet som ble brukt i undersøkelsene var en presentasjon av et fossefall spilt inn i ekkofritt rom [12]. Dette lydsignalet ble spilt av i 10-15 sekunder mens testpersonene gjorde seg opp en mening, for så å økes med 5 dBA innenfor rammene gitt av tabell 4.1.

For undersøkelsene med testpersonene i nærheten av personen som benyttet seg av den lille høyttaleren, var testpersonen plassert 1.6 m til siden for lytteposisjon. Det ble brukt de samme lydnivåene som i den første undersøkelsen, men her ble testpersonene instruert til å svare på hvordan de oppfatter den lille høyttaleren. Her ble det undersøkt om de merket den som positiv eller negativ, eller om de ikke merket noe til den. Testpersonene fikk her et skjema som vist i vedlegg 8.4, tabell 8.4.

5 | Resultater fra målinger og subjektive undersøkelser

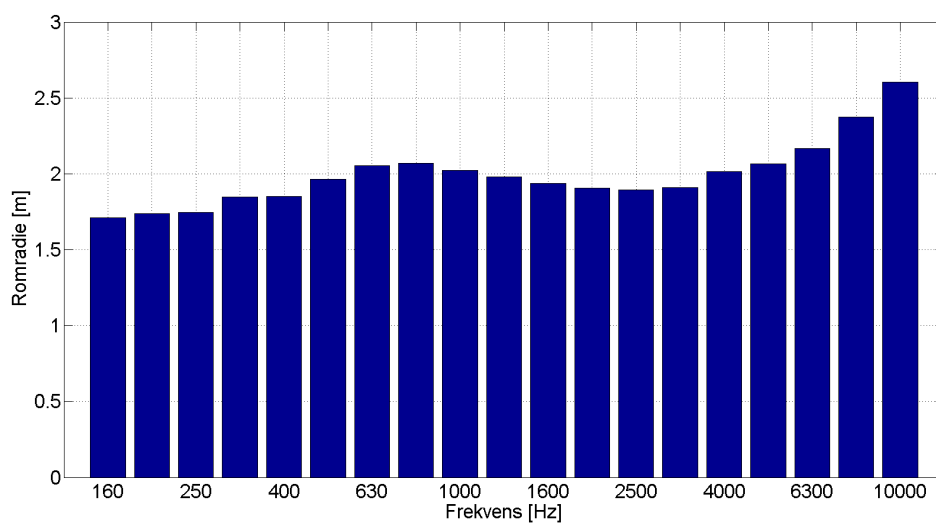
5.1. MÅLINGER I EL-3

Målingene gjort i EL-3 var de første målingene som ble gjort og ble brukt til å finne ut hvordan de to filtrerte versjonene av testsignalet påvirket verdien av STI.



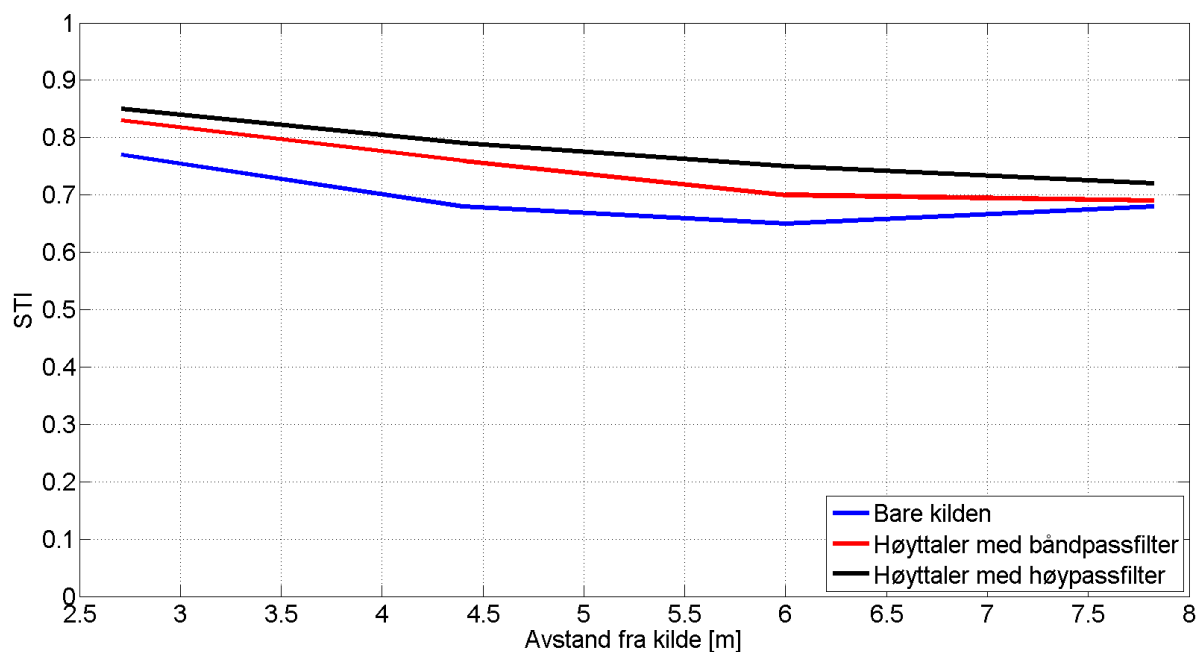
Figur 5.1: Etterklangstiden for hvert 1/3 oktavnband mellom 160 og 10000 Hz i EL-3.

Figur 5.1 viser etterklangstiden i EL-3 for hvert 1/3 oktavnband med senterfrekvens mellom 160 og 10000 Hz. Dette auditoriet er laget for å ha en god etterklangstid for størrelsen på rommet, og etterklangstiden ligger her mellom 0.6 og 0.8 for de midtre frekvensbandene. I dette auditoriet er det absorberer på veggen og i taket som bidrar til å skape denne etterklangstiden. Disse etterklangstidene gav romradien som vist i figur 5.2, hvor det kommer frem at romradien ved de fleste frekvensbandene ligger under 2.5 meter. Romradien når sitt maksima ved 10 kHz og er da 2.6 meter.



Figur 5.2: Romradien for hvert 1/3 oktavbånd mellom 160 og 10000 Hz i EL-3.

Figur 5.3 viser resultatet av STIPA-målingene i EL-3, hvor det er gjort målinger i fire ulike posisjoner med ulik avstand til kilden. Figuren viser hvor god taleoppfattbarheten er med og uten den lille høyttaleren, og den viser forskjellen på bruken av høypass- og båndpassfilter. I dette auditoriet er taleoppfattbarheten ganske høy selv når det bare måles på kilden, så dette er ikke noe ideelt rom å vise store forbedringer på taleoppfattbarheten. Det som kommer frem av disse målingene er at den

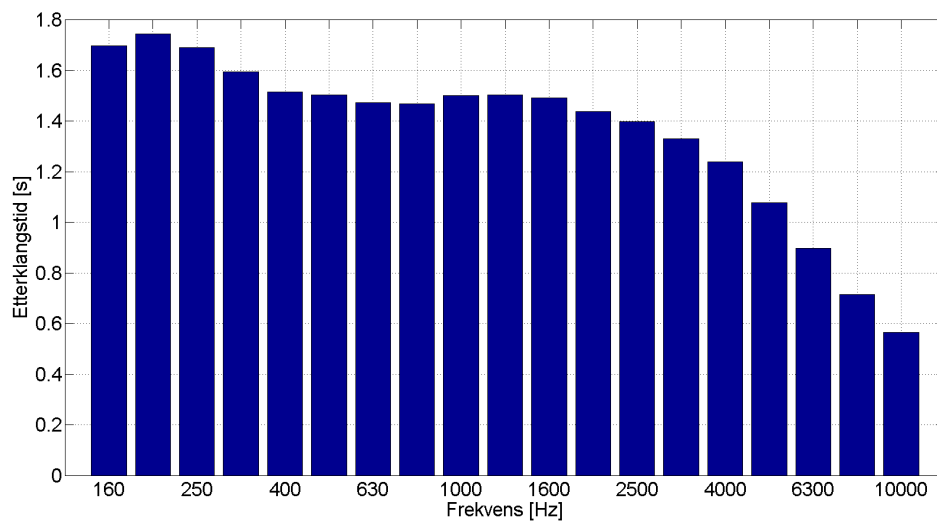


Figur 5.3: STI som funksjon av avstand fra kilden i EL-3.

lille høyttaleren forbedrer taleoppfattbarheten og at høypassfilteret forbedrer mer enn båndpassfilteret.

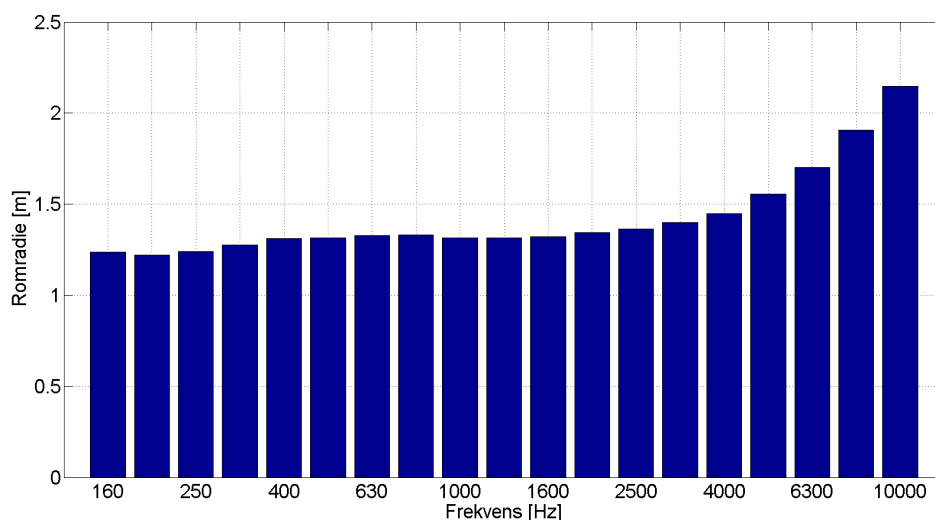
5.2. MÅLINGER I AKUSTIKKHALLEN

I akustikkhallen ble det gjort målinger på etterklangstid, utregninger av romradie og forskjellige STIPA-målinger. Her ble det fokusert på hvordan lydstyrken fra den lille høyttaleren påvirker verdien av STI.



Figur 5.4: Etterklangstiden for hvert 1/3 oktavbånd mellom 160 og 10000 Hz i akustikkhallen.

Figur 5.4 viser etterklangstiden i akustikkhallen i hvert 1/3 oktavbånd. For de midtre frekvensbåndene ligger etterklangstiden mellom 1.3 og 1.5 s, noe som er omtrent det dobbelte av etterklangstiden i El-3. I akustikkhallen er det store, flate og harde vegger som bidrar til en høy etterklangstid. Fra disse etterklangstidene ble romradien i figur 5.5 beregnet. Romradien ligger under 1.5 meter for alle frekvensbåndene under 5 kHz, for de høyeste frekvensbåndene øker romradien til 2.15 meter ved 10 kHz.



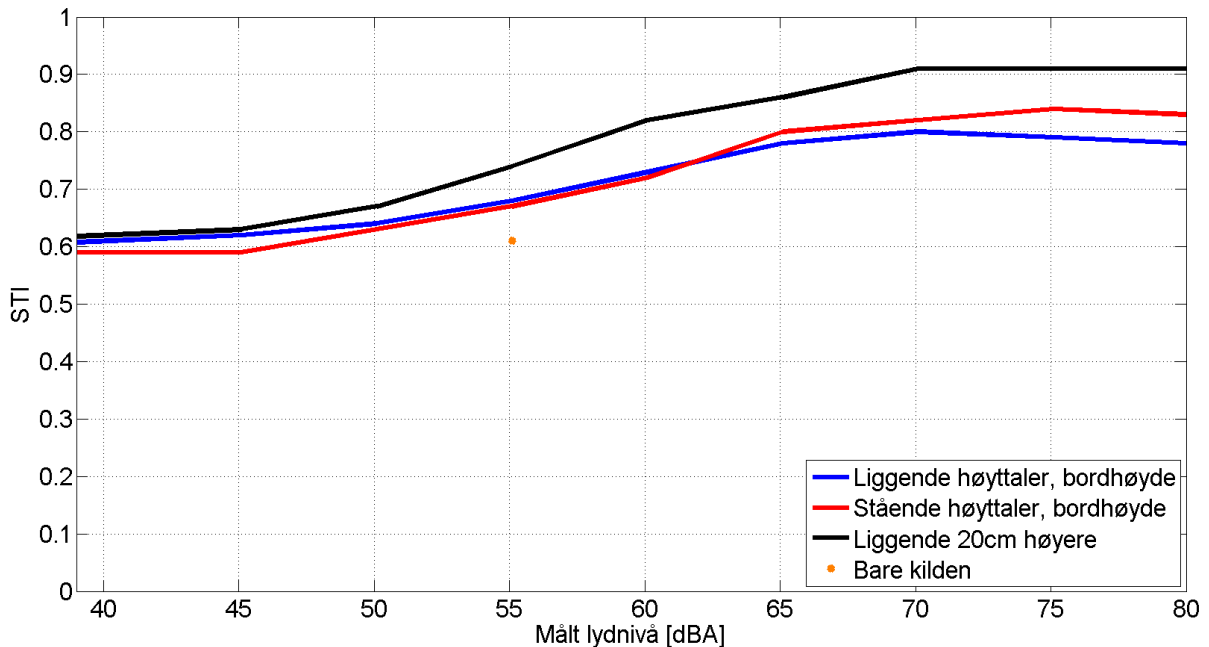
Figur 5.5: Romradien for hvert 1/3 oktavnband mellom 160 og 10000 Hz i akustikkhallen.

Figur 5.6 viser resultatene av STIPA-målingene gjort i akustikkhallen. Målingen av bare kilden er vist som et oransje punkt siden lydstyrken fra kilden er konstant. X-aksen er her den målte lydstyrken i måleposisjon fra den lille høyttaleren alene, mens verdien av STI er her den lille høyttaleren og kilden kombinert. Her har verdien av STI blitt sammenlignet for forskjellige plasseringer av den lille høyttaleren ved forskjellige lydnivåer. Figur 5.6 viser STI for den lille høyttaleren i stående og liggende posisjon i bordhøyde, og liggende 20 cm over bordhøyde. I tillegg er verdien av STI for kilden vist, denne ligger på 0.61 og lydstyrken fra kilden er målt til 55.1 dBA i måleposisjonen. Det kommer frem at for lydstyrker under 45 dBA fra den lille høyttaleren vil ikke høyttaleren gi noen forbedring av taleoppfattbarheten da den her flater ut på STI verdien fra kilden. For lydstyrker over 70 dBA har det ikke lenger noe å si for verdien av STI at lydstyrken blir økt. Forskjellen fra dette nivået og nivået STI har med bare kilden er den maksimale forsterkningen den lille høyttaleren kan gi i posisjonen det gjelder. For lydstyrkene mellom 45 og 70 dBA øker verdien av STI med økende lydstyrke. Det kommer frem at STI er ganske lik for liggende og stående høyttaler i den gitte posisjonen, men det er små forskjeller. Frem til 62 dBA er verdien av STI for den liggende høyttaleren større enn for den stående, mens over 62 dBA er verdien høyere for den stående. Den stående høyttaleren gir også et litt høyere maksimalnivå. Den største forskjellen mellom disse plasseringene av den lille høyttaleren er når STI har nådd sitt maksimalnivå, hvor forskjellen er på 0.05. Den maksimale forsterkningen for den stående høyttaleren er 0.23 ved 75 dBA.

Ved å plassere den lille høyttaleren 20 cm over bordhøyde kom den nærmere måleinstrumentet og ga dermed en høyere verdi av STI som resultat. Denne posisjonen gir en forsterkning av STI på 0.1 i forhold til stående posisjon ved lydstyrke 60 dBA. Maksimalnivået for denne posisjonen er 0.91 og dette oppnås ved en lydstyrke fra den lille høyttaleren på 70 dBA, noe som er 0.07 høyere enn maksimalnivået for

stående posisjon. Den maksimale forsterkningen av STI i forhold til kilden alene blir her 0.3.

Ved lydstyrker over 75 dBA kom det spraking fra den lille høyttaleren og det var tydelig at den ikke tålte noen videre økning av lydstyrken.



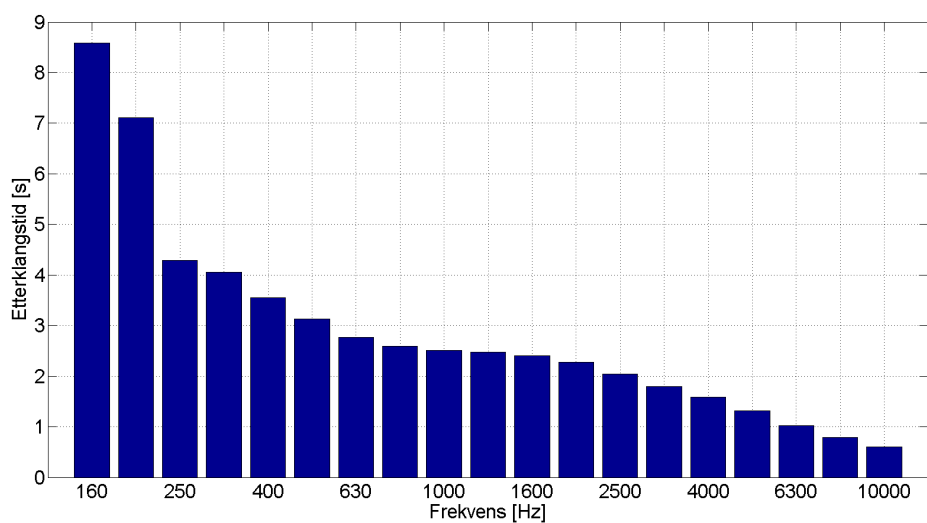
Figur 5.6: STI som funksjon av økt lydnivå fra den lille høyttaleren i akustikkhallen.

5.3. MÅLINGER I LYDROM 3

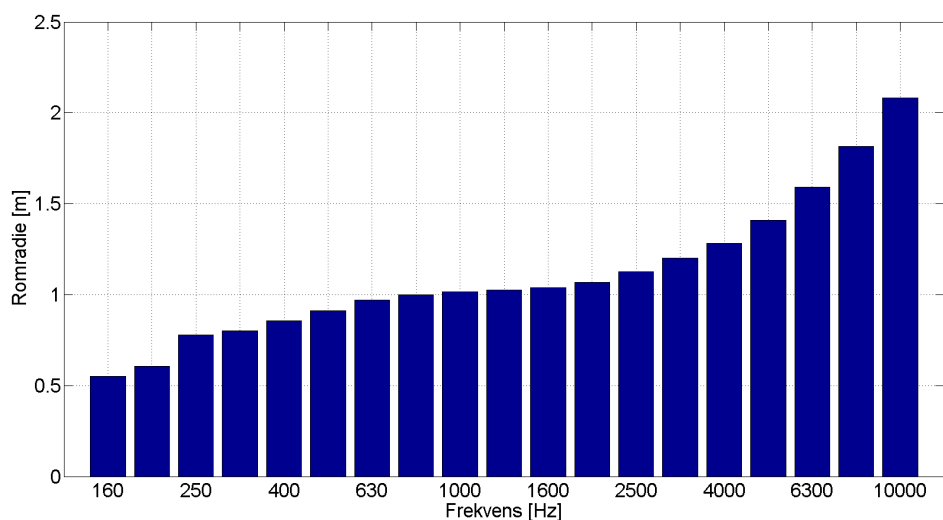
I lydrom 3 ble det gjort målinger på etterklangstid, utregning av romradie og STIPA-målinger. STIPA-målingene ble gjort i flere posisjoner for den lille høyttaleren for å se hvor stort utslag avstanden fra måleinstrumentet hadde å si for taleoppfattbarheten.

Figur 5.7 viser resultatet av etterklangstidmålingene i dette rommet. Etterklangstiden er her veldig høy for de laveste frekvensbåndene og er målt til 8.6 sekunder for 1/3 oktavbåndet med senterfrekvens på 160 Hz, som er det laveste frekvensbåndet i disse undersøkelsene. For de midtre frekvensbåndene ligger etterklangstiden mellom 2 og 3 sekunder, før den synker ytterligere for de øverste frekvensbåndene.

Romradien vist i figur 5.8 ligger på under 1 meter for de laveste frekvensbåndene, frem til frekvensbåndet med senterfrekvens 800 Hz. For de midtre frekvensbåndene ligger romradien på rett over 1 meter og for de høyeste frekvensbåndene, 5000-10000 Hz, stiger den fra 1.4 til 2.1 meter.



Figur 5.7: Etterklangstiden for hvert 1/3 oktavnband mellom 160 og 10000 Hz i lydrom 3.

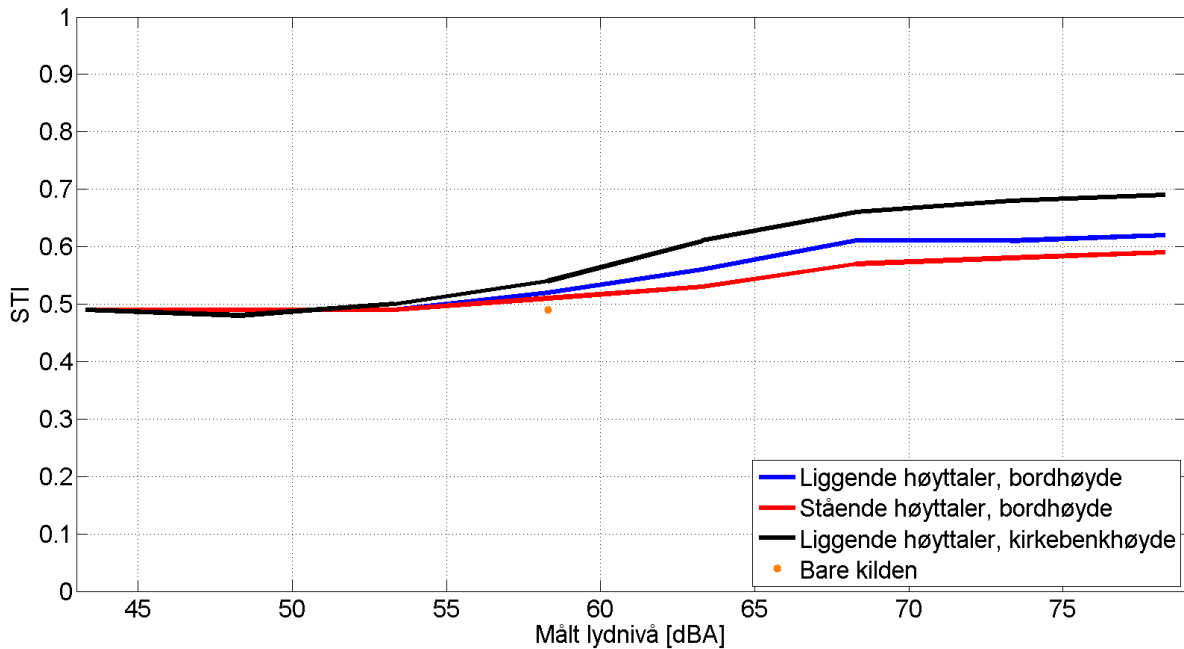


Figur 5.8: Romradien for hvert 1/3 oktavnband mellom 160 og 10000 Hz i lydrom 3.

Figur 5.9 og 5.10 viser STIPA-målingene for dette rommet, her er det gjort målinger i forskjellige avstander fra måleinstrumentet til den lille høyttaleren. Figur 5.9 viser resultatet av målinger gjort 48 cm i horisontal avstand fra måleinstrumentet, mens 5.10 viser resultatet av målinger gjort 25 cm i horisontal avstand fra måleinstrumentet.

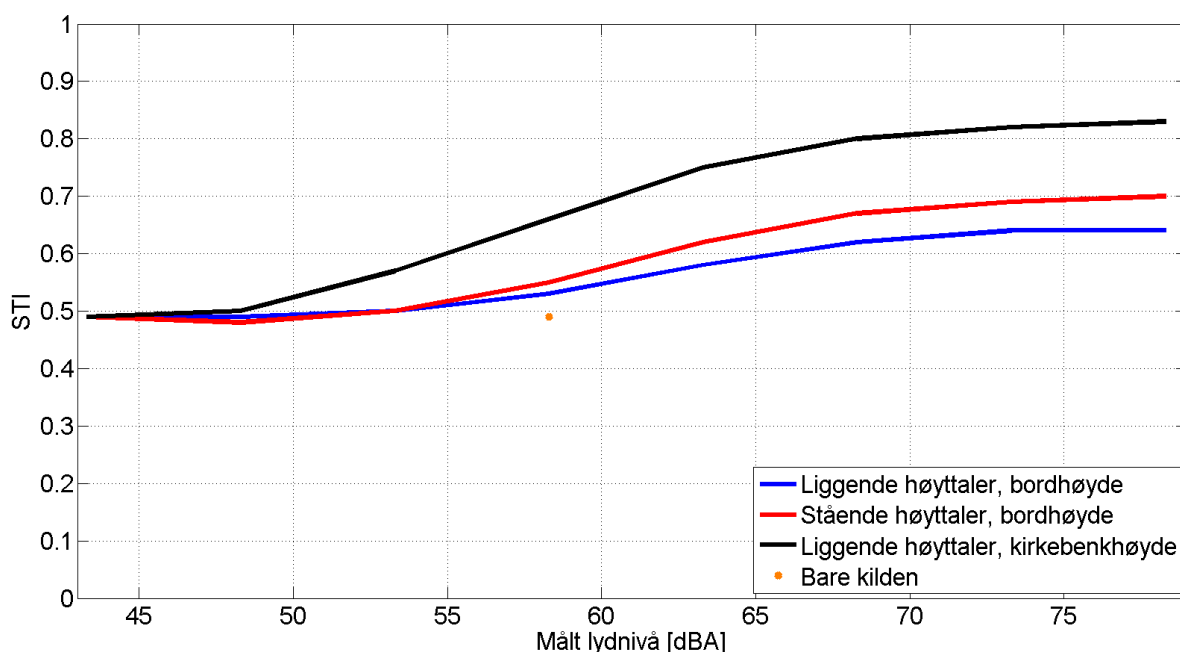
Figur 5.9 viser verdien av STI for målinger gjort ved økende lydstyrke fra den lille høyttaleren når den var liggende og stående i bordhøyde, og liggende i kirkebenkhøyde/skulderhøyde. Figuren viser i tillegg målingen gjort av kilden alene. STIPA-målingen på kilden viser at dette rommet har i måleposisjonen en STI på 0.49 og en lydstyrke på 58.3 dBA. Her er det tydelig at målingene med den lille høyttaleren

i kirkebenkhøyde forsterker STI i forhold til kilden mest, mens i bordhøyde er det den liggende høyttaleren som forsterker mest. Den lille høyttaleren begynte her å forsterke når lydstyrken var over 55 dBA og forsterkningen begynte å flate ut over 68 dBA. De maksimale forsterkningene på STI er her 0.20, 0.13 og 0.10.



Figur 5.9: STI som funksjon av økt lydnivå fra den lille høyttaleren i lydrom 3, gjort 48 cm i horisontal avstand fra måleinstrumentet.

Figur 5.10 viser verdien av STI for målinger gjort ved økende lydstyrke fra den lille høyttaleren når den var liggende og stående i bordhøyde, og liggende i kirkebenkhøyde/skulderhøyde. Figuren viser i tillegg målingen gjort av kilden alene, denne er den samme som vist i figur 5.9. Her kommer det frem at STI i forhold til kilden blir forsterket mest når den lille høyttaleren er plassert i kirkebenkhøyde. I kirkebenkhøyde begynner høyttaleren å forsterke ved en lydstyrke over 48 dBA og begynner å flate ved en maksimal forsterkning over 68 dBA. For posisjonene i bordhøyde kommer det frem at den stående høyttaleren forsterker mer enn den liggende. Disse to plasseringene av høyttaleren begynner å gi en forsterkning ved en lydstyrke over 53 dBA og begynner å flate ut ved en maksimal forsterkning over 68 dBA. De maksimale forsterkningene av STI i forhold til kilden for disse plasseringene av den lille høyttaleren er 0.34, 0.21 og 0.15.



Figur 5.10: STI som funksjon av økt lydnivå fra den lille høyttaleren i lydrom 3, gjort 25 cm i horisontal avstand fra måleinstrumentet.

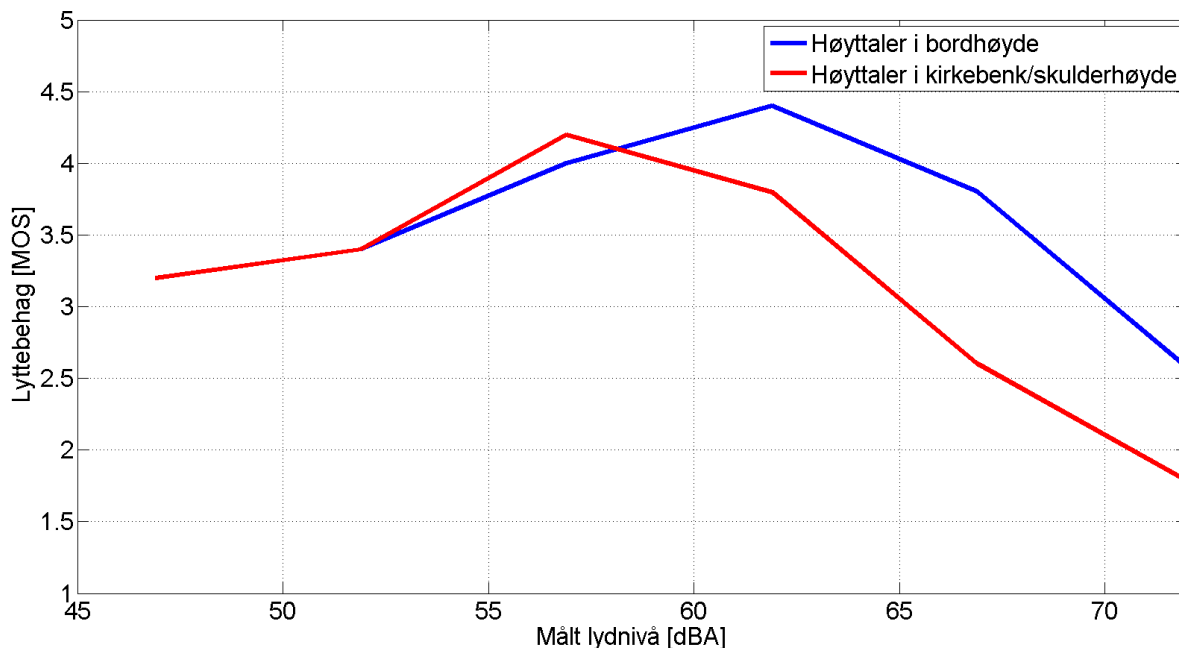
5.4. SUBJEKTIVE UNDERSØKELSER

Figur 5.11 viser en sammenligning av gjennomsnittsbetvarelsen til testpersonene for lyttebehaget ved økende lydnivå, når den lille høyttaleren var plassert stående i bordhøyde og liggende i kirkebenk/skulderhøyde. Ved de to laveste lydnivåene blir lyttebehaget rangert likt for de to posisjonene av den lille høyttaleren. Her ligger lyttebehaget mellom 3 og 3.5 noe som tilsier at lyttebehaget her har blitt rangert litt over middels på skalaen og er verken behagelig eller ubehagelig å høre på. Når lydnivået stiger fra 51.9 til 56.9 dBA for den lille høyttaleren i lytteposisjon blir lyttebehaget sterkere for begge posisjonene. Her blir lyttebehaget rangert som behagelig å høre på, og her ligger lyttebehaget for høyttaleren i kirkebenkhøyde noe over lyttebehaget for høyttaleren i bordhøyde. Ved neste økning av lydnivået begynner lyttebehaget for høyttaleren i kirkebenkhøyde å synke, mens lyttebehaget for høyttaleren i bordhøyde fortsetter å stige. Her ligger lyttebehaget for høyttaleren i bordhøyde 0.6 høyere enn lyttebehaget for høyttaleren i kirkebenkhøyde. Når lydnivået økes med ytterligere 5 og 10 dBA synker lyttebehaget for begge posisjonene. Det kommer da frem at lyttebehaget for høyttaleren i bordhøyde har omtrent samme nivå av lyttebehag som høyttaleren i kirkebenkhøyde hadde ved et lydnivå på 5 dBA lavere.

Når lydnivået fra høyttaleren i kirkebenkhøyde er over 65 dBA ligger lyttebehaget under midten på skalaen og er da mer ubehagelig enn behagelig, så dette er lydnivåer som bør unngås. Høyttaleren i bordhøyde ligger under midten på skalaen

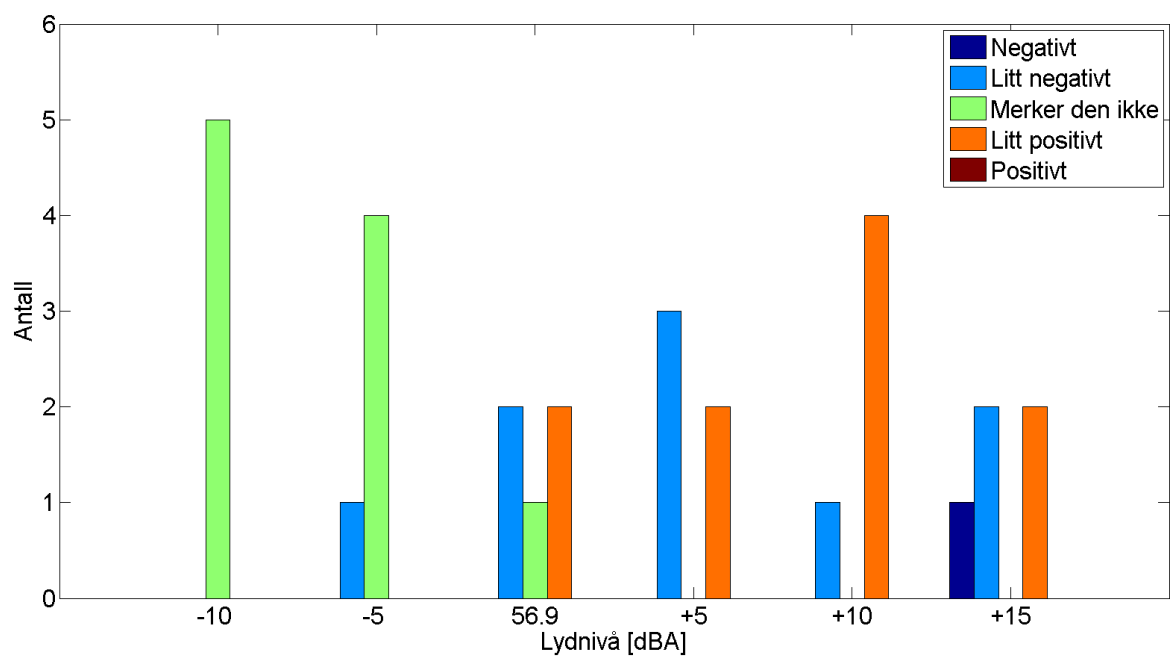
for lydnivåer over 70 dBA.

Lydnivåer som ligger over 4 på skalaen for lyttebehag er behagelige å høre på og her finnes de lydnivåene som er optimale med tanke på lyttebehag. For høyttaleren i kirkebenkhøyde gjelder dette fra 55.5 dBA til 59.5 dBA, mens for høyttaleren i bordhøyde gjelder dette fra 57 dBA til 65 dBA.



Figur 5.11: Gjennomsnittet av lyttebehaget registrert i de subjektive undersøkelsene, hvor testpersonene var i lytteposisjon.

Figur 5.12 viser resultatet av de subjektive undersøkelsene med testpersonene plassert 1.6 m til side for lytteposisjon. Her har testpersonene blitt spurt om hvordan de opplever den lille høyttaleren, og det har blitt undersøkt om de blir forstyrret av den eller om de merker den som positiv i lydbildet. Ved de to laveste lydnivåene kommer det frem at testpersonene ikke merker den lille høyttaleren og at de opplever det som at den ikke er til stede. Når lydnivået var økt til 56.9 dBA merket 4 av 5 personer den lille høyttaleren, og det kom frem at de opplevde den forskjellig. 2 personer merket den som litt positiv, mens 2 merket den som litt negativ. Ved neste økning av lydnivået merket alle den lille høyttaleren, og her merket 3 den som litt negativ, mens 2 merket den som litt positiv. Det var altså ganske jevnt delt mellom personer som merket den som positiv og personer som merket den som negativ. Ved en ytterligere økning av lydnivå til 66.9 dBA syntes 4 av 5 personer at det var litt positivt å ha den lille høyttaleren til stede, og det var dermed dette lydnivået flest likte å ha på den lille høyttaleren. Ved det øverste lydnivået brukt i denne undersøkelsen var det flere som opplevde nærværet av den lille høyttaleren som negativt, dette var det lydnivået som testpersonene likte dårligst.



Figur 5.12: Resultatet av de subjektive undersøkelsene med testpersonene 1.6 m til side for lytteposisjon.

6 | Diskusjon

6.1. FILTERVALG

Det ble undersøkt to forskjellige filtre ved de første målingene, et båndpassfilter og et høypassfilter. Målingene viste at høypassfilteret ga best forbedring av taleoppfattbarheten. Dette kommer av at båndpassfilteret filtrerer bort deler av informasjonen fra testsignalet ved de høyeste frekvensene noe som bidrar til at disse ikke kommer frem til måleinstrumentet og dermed blir resultatet bedre ved høypassfiltrering. Ved bruk av et reelt talesignal ville båndpassfiltrering resultert i at noe av den viktige informasjonen ved de høye frekvensene kan bli vanskeligere å oppfatte enn ved en høypassfiltrering. Derfor er det nok best at det endelige produktet blir produsert med et høypassfilter siden informasjonen i de høyeste frekvensene av talen bare bidrar positivt. Filteret bør ta med så mye som mulig av frekvensinnholdet opp til 10 - 15 kHz, frekvensene over dette inneholder ikke essensiell informasjon for taleoppfattbarheten.

6.2. VIRKNINGEN AV ETTERKLANG PÅ TALEOPPFATTBARHETEN

I denne oppgaven har det blitt gjort målinger og undersøkelser i tre forskjellige rom, med forskjellig etterklangstid og romradie. De første målingene ble gjort i El-3 med en etterklangstid på rundt 0.7 s, så ble det gjort målinger i akustikkhallen med etterklangstid på rundt 1.5 s, og til slutt ble det gjort målinger og undersøkelser i lydrom 3 med etterklangstid på 2.5 - 4 s.

Det viste seg at når etterklangstiden i rommet øker så synker taleoppfattbarheten, her representert ved STI. Dette kan bli sett fra STIPA-målingene fra kilden alene i de forskjellige rommene. I El-3 er denne verdien varierende i ulike avstander fra kilden og ligger mellom 0.65 og 0.77. I akustikkhallen ligger STI fra kilden alene på 0.61, mens i lydrom 3 ligger den på 0.49. Disse verdiene er dermed utgangspunktet for forsterkningen den lille høyttaleren kan gjøre på taleoppfattbarheten. Dette betyr at det er større rom for forbedring i et rom med høy etterklangstid enn i et rom med lav etterklangstid.

Når utgangspunktet i El-3 ligger mellom Good og Excellent på STI-skalaen vil ikke taleoppfattbarheten bli veldig mye bedre med den lille høyttaleren, men den vil fortsatt hjelpe. For en person med nedsatt hørsel kan et utgangspunkt høyt på skalaen allikevel være vanskelig å oppfatte og dermed er forbedringen en kan oppnå

med den lille høyttaleren viktig.

I akustikkhallen ligger utgangspunktet på grensen mellom Fair og Good og det er dermed større muligheter for forbedring av taleoppfattbarheten. Her viser målingene at det er muligheter for å forbedre STI opp til 0.91, noe som gjør det veldig mye lettere å oppfatte hva som blir sagt, både for normalt hørende og personer med nedsatt hørsel.

I lydrom 3 ligger utgangspunktet i nedre del av Fair på STI-skalaen og det er derfor store muligheter for forbedring av taleoppfattbarheten. Her viser målingene at det er mulig å forbedre STI opp til 0.83 med de plasseringene som er valgt. I et rom med så lang etterklangstid som det er i dette rommet blir det vanskelig å oppfatte hva som blir sagt, selv for en person uten nedsatt hørsel. Disse etterklangstidene er typiske for kirkerom, hvor det også er store harde flater som bidrar til lang etterklangstid. Her kunne det være aktuelt å utstyre kirkebenker med en liten høyttaleren av denne typen for å forbedre taleoppfattbarheten. Ved å se på resultatene fra STIPA-målingene med høyttaleren i kirkebenkhøyde/skulderhøyde i lydrom 3 kommer det frem at det er mulig å forbedre STI med 0.34, noe som tar STI fra et lavt resultat på Fair og opp til et resultat som ligger over Excellent på skalaen. Denne maksimale forbedringen krever relativt høye lydnivåer fra den lille høyttaleren, noe som det kommer frem av de subjektive undersøkelsene at ikke blir behagelig å høre på. Med et lydnivå på 60 dBA vil denne høyttaleren i kirkebenkhøyde være behagelig å høre på samtidig som det gir en forbedring av STI opp til 0.69. STI vil dermed ligge i øvre del av Good på skalaen og talen vil dermed være både bedre forståelig og mer behagelig å høre på.

Det målingene i rom med ulik etterklangstid viser er at forbedringen av STI ved økt lydnivå fra den lille høyttaleren gir et tak for forbedringen. Forbedringen beveger seg asymptotisk mot et øvre tak som blir lavere ved høyere etterklangstid. Den beveger seg også asymptotisk mot et nedre nivå gitt av verdien av STI fra kilden.

6.3. VIKTIGHETEN AV Plassering AV LITEN HØYTTALER FOR FORBEDRET TALEOPPFATTBARHET

Under målingene gjort i denne oppgaven er det blitt brukt flere forskjellige plasseringer av den lille høyttaleren i forhold til lytteposisjon/måleposisjon. I El-3 ble det også testet for forskjellige måleposisjoner for STI, noe som ga forskjellige resultater. Verdien av STI for kilden alene i El-3 varierte mellom 0.77, 0.68, 0.65 og 0.68 for økende avstand fra kilden. Alle disse avstandene er utenfor romradien og har derfor et lydnivå som er tilnærmet like, men allikevel ga de forskjellige resultater. Det er spesielt den posisjonen nærmest kilden som peker seg ut som annerledes, da denne er en god del høyere enn de andre. Dette kan komme av at det i denne posisjonen er noe mindre refleksjoner som forstyrrer resultatet, og at denne posisjonene er før skråplanet i rommet, figur 4.2, hvor de fleste sitteplassene befinner seg og de andre målingene er blitt utført.

Både under målingene i akustikkhallen og i lydrom 3 er det brukt flere posisjoner

for den lille høyttaleren, noe som har bidratt til ulike resultater for STIPA-målingene. Når høyttaleren blir plassert nærmere måleinstrumentet blir verdien av STI høyere, noe som kommer tydelig frem i målingene fra lydrom 3, hvor det er gjort målinger i to forskjellige avstander fra måleinstrumentet til den lille høyttaleren. Når høyttaleren kommer nærmere måleinstrumentet vil signal-støy forholdet øke, siden den lille høyttaleren er innenfor romradien. Dette fører til at nytteverdien i signalet blir sterkere og det gir dermed bedre taleoppfattbarhet.

I de to bordhøydeposisjonene for den lille høyttaleren i lydrom 3 ble det gjort målinger med både stående og liggende høyttaler. Disse viste at ved posisjonen nærmest måleinstrumentet var høyttaleren i stående posisjon best, mens lengst unna var høyttaleren i liggende posisjon best. Dette kan komme av direktiviteten til høyttaleren, ved den nærmeste posisjonen vil en liggende høyttaler ha en større vinkel til måleinstrumentet enn en stående. Ved posisjonen lengst vekk vil signalet fra den liggende høyttaleren være mer rettet mot måleinstrumentet enn den stående.

Det har vist seg at plasseringen av den lille høyttaleren har mye å si for resultatet. For å få best forbedring av taleoppfattbarheten lønner det seg å ha høyttaleren i stående posisjon ganske nærme lytteren, eller plassere den høyere enn bordhøyde. Når høyttaleren blir plassert i bordhøyde så blir direktiviteten viktig, derfor er nok en eggformet høyttaler som er vinklet på skrå mot lytteren det beste alternativet. Dette er også den originale ideen for det tenkte produktet av Arne Vik.

6.4. SUBJEKTIVE UNDERSØKELSER

De subjektive undersøkelsene ble utført i lydrom 3 for å kunne sammenligne lyttebehag i kirkebenk/skulderhøyde og stående i bordhøyde, med de målte resultatene. Dette er da gjort som en utvidelse av undersøkelsene på den lille høyttaleren, med tester for hvor behagelig det filtrerte signalet ut av høyttaleren er å høre på som et hjelpemiddel i en forelesning. I tillegg hjelper de subjektive testene med å finne ut om dette er et brukbart hjelpemiddel for forbedringen av taleoppfattbarhet i et kirkerom, hvor det kan sammenlignes med målingene i de samme posisjonene.

Når lydnivået fra den lille høyttaleren øker, øker også lyttebehaget fra den lille høyttaleren. Dette pågår frem til et nivå, hvor lyttebehaget begynner å falle. Dette kan skyldes at når lydnivået økes vil den lille høyttaleren bidra til at det virker som kilden får et høyere lydnivå, og det blir lettere å følge med da lyden fra den lille høyttaleren forsterker de riktige frekvensene i talen. Når lydnivået kom opp til et nivå som ga et topp-punkt for lyttebehaget begynte den lille høyttaleren å dominere lydbildet, og det hørtes ut for lytteren at den lille høyttaleren var kilden. Ved for høyt lydnivå kan lyden fra den lille høyttaleren bli skarp og lyttebehaget synker. Dette bidrar til at når høyttaleren er plassert i kirkebenkhøyde og dermed kommer nærmere øret til lytteren, vil de høye lydnivåene gjøre at lyttebehaget synker tidligere enn for høyttaleren i bordhøyde.

De subjektive undersøkelsene gjort 1.6 m til siden for lytteposisjonen viser at ved de laveste lydnivåene merker ikke testpersonene den lille høyttaleren, da lydnivåene er så lave at det fortsatt er kilden som er den dominerende lyden. Når de først

begynte å merke høyttaleren var dette fordi den oppfattede kildeposisjonen begynte å bevege seg til et punkt mellom kilden og den lille høyttaleren. Noen oppfattet dette som litt negativt, mens andre syntes det økte lydnivået på denne nye kilden gjorde det lettere å følge med og merket dette som litt positivt. Når lydnivået ble høyere ble den lille høyttaleren mer dominerende og det var varierende reaksjoner fra testpersonene. Når lydnivået gjorde at lydkilden som testpersonen oppfattet var mellom kilden og den lille høyttaleren, var det relativt likt mellom personer som oppfattet dette som litt positivt og litt negativt. Når så den lille høyttaleren ble dominerende oppfattet de fleste dette som litt positivt og at det ble litt lettere å følge med. Deretter når lydnivået ble økt en siste gang oppfattet testpersonene dette som mer negativt. Her syntes noen av testpersonene at den lille høyttaleren var litt forstyrrende og dette var det lydnivået som ble bedømt dårligst.

6.5. OPTIMALE LYDNIVÅER FRA DEN LILLE HØYTTALEREN

Ved å sammenligne de ulike målingene og subjektive undersøkelsene for ulike posisjoner i lydrom 3 er det mulig å finne de mest optimale lydnivåene fra den lille høyttaleren for forbedret taleoppfattbarhet.

Basert på målingene er det mest optimale å plassere den lille høyttaleren i kirkebenk/skulderhøyde i posisjonen nærmest lytteren. Dette gir den totalt beste forbedringen av taleoppfattbarheten som er oppnådd i noen av målingene. Ved å sammenligne med de subjektive undersøkelsene for denne posisjonen er det høyeste akseptable lydnivået som fortsatt er litt behagelig å høre på 61.9 dBA. Dette gir en forbedring av STI fra 0.49 til 0.72, noe som fortsatt er bedre enn den maksimale forbedringen de andre posisjonene kan gi i dette rommet. Dette lydnivået er derimot ikke helt optimalt for lyttebehaget til en person som sitter i nærheten av personen som bruker denne høyttaleren. For å gjøre forbedringer for personen som sitter i nærheten er det to muligheter, enten senke lydnivået med 10 dBA, eller øke det med 5 dBA. Muligheten med å senke lydnivå er ikke aktuelt da dette fjerner det meste av gevinsten med å bruke den lille høyttaleren. Derimot å øke lydnivået med 5 dBA kan fungere ved å bruke høyttaleren stående i posisjonen nærmest lytteren. Ved dette lydnivået og denne posisjonen vil lyttebehaget i lytteposisjonen være på det maksimale av det som kan betegnes som litt behagelig å høre på. Her vil forbedringen av STI være fra 0.49 til 0.66. Denne posisjonen gir ikke like god forbedring av STI som høyttaleren i kirkebenkhøyde, men den gir det beste lyttebehaget. Det har blitt lagt mest vekt på de objektive målingene i denne oppgaven så det optimale lydnivået fra den lille høyttaleren er 61.9 dBA med høyttaleren plassert i kirkebenkhøyde.

6.6. VIDERE ARBEID

Denne oppgaven kan jobbes videre med det subjektive aspektet. Her kan det settes opp mer omfattende subjektive undersøkelser for å finne både taleoppfattbarhet og lyttebehag i ulike scenarioer. Det kunne vært interessant å se resultatet av en subjektiv undersøkelse med en tidsforsinkelse mellom kilde og liten høyttaler. Denne

tidsforsinkelsen vil være på talesignalet fra den lille høyttaleren, slik at kildesignalet vil virke som den oppfattede kilden for lytteren ved høyere lydnivåer enn det som er tilfellet i undersøkelsene gjort her. Det kreves dermed høyere lydnivåer fra den lille høyttaleren før denne begynner å bli den dominerende lyd-kilden.

Det kunne vært interessant å gjort en omfattende brukerundersøkelse med personer med nedsatt hørsel for å finne ut om denne løsningen fungerer som en forbedring av taleoppfattbarheten i praksis. Her kunne det vært gjort undersøkelser med flere grupper av testpersoner med ulike hørseltap for å finne ut om denne løsningen fungerer bedre i ulike tilfeller.

Resultatene fra denne oppgaven kan brukes i realiseringen av den eggformede bordhøyttaleren etter ideen til Arne Vik.

7 | Konklusjon

I denne oppgaven har det blitt undersøkt egenskaper rundt signalbehandlingen for en liten høyttaler for å forbedre taleoppfattbarheten for personer med nedsatt hørsel. Det har blitt funnet ut at dette er en original idé og det har ikke blitt funnet noe lignende som er utviklet noe annet sted. Det har kommet frem ved målinger at det optimale for taleoppfattbarheten er å legge et høypassfilter på talesignalet i høyttaleren. Frekvensspekteret til dette høypassfilteret følger vektingsgraden for gjennomsnittlig tale frem til denne når topp-punktet ved $1/3$ oktavbåndet med senterfrekvens på 2000 Hz. Fra dette topp-punktet flater frekvensspekteret ut slik at all frekvensinformasjon over dette kommer gjennom filteret.

Målingene av taleoppfattbarheten i forskjellige rom med ulik etterklangstid har vist at når etterklangstiden øker, synker taleoppfattbarheten målt uten den lille høyttaleren. Det kom også frem at det er en begrensning på hvor mye den lille høyttaleren kan forbedre taleoppfattbarheten. Når etterklangstiden blir lengre synker det øvre taket for taleoppfattbarheten fra den lille høyttaleren, men den totale forbedringen som den lille høyttaleren kan gi øker med lengre etterklangstid. Dette fører til at i et vanlig auditorium med etterklangstid på rundt 0.7 sekunder er taleoppfattbarheten uten den lille høyttaleren relativt høy. Derfor vil ikke den lille høyttaleren ha så stort forbedringspotensial på taleoppfattbarheten der, men den kan allikevel fungere godt som hjelp til en som lider av nedsatt hørsel, da en slik person sliter med å forstå hva som blir sagt selv om taleoppfattbarheten er relativt høy. Når etterklangstiden blir rundt 3-4 s blir det vanskeligere å oppfatte talen uten den lille høyttaleren og det er her et større forbedringspotensial på taleoppfattbarheten. Et rom med en slik etterklangstid kan sammenlignes med et kirkerom og det kan derfor være en idé å utstyre kirkebenker med en lignende høyttaler for å gjøre det lettere å oppfatte hva som blir sagt. Her kan den lille høyttaleren hjelpe både personer med nedsatt hørsel og med perfekt hørsel. Målingene viste at i kirkebenk/skulderhøyde er det mulig å forbedre verdien av STI fra 0.49 til 0.83 i et slikt rom.

De subjektive undersøkelsen viser at når lydnivået fra den lille høyttaleren blir for høyt, blir det ubehagelig å høre på lyden. Dette fører til at det optimale lydnivået som fortsatt gir en god forbedring av taleoppfattbarheten blir noe lavere enn det maksimale. Det høyeste lydnivået som kan beskrives som behagelig å høre på i kirkebenk/skulderhøyde i rommet som kan sammenlignes med et kirkerom er 61.9 dBA. Dette gir en forbedret verdi av STI fra 0.49 til 0.72, noe som vil hjelpe på taleoppfattbarheten både for en person med nedsatt hørsel og en med perfekt hørsel. Disse undersøkelsene er gjort med personer med perfekt hørsel og det kan tenkes

at en person med nedsatt hørsel ville opplevd lyttebehag ved høyere lydnivåer enn personene med perfekt hørsel.

Bibliografi

- [1] Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey. Fundamentals of Acoustics, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 2000.
- [2] American National Standard, Methods for calculating of the Speech Intelligibility Index, ANSI S3.5-1997, Revision of ANSI S3.5-1969 (R 1986), Standards Secretariat, Acoustical Society of America, 120 Wall Street, 32nd Floor, New York, New York 10005-3993.
- [3] Magnus Andreas Johnsen, Basshøytaler til portable høyttalere, Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet, Institutt for elektronikk og telekommunikasjon, 2012.
- [4] Norsonic AS, Instruction Manual, nor140 Sound Analyser, June 2011 Edition. Kapittel 24, s157-158.
- [5] Steeneken, Herman JM, and Tammo Houtgast. Basics of the STI measuring method. Past, Present, and Future of the Speech Transmission Index (2002): 22-24.
- [6] International Telecommunication Union, ITU-T Recommendation P.800, Methods for subjective determination of transmission quality, Annex B.4.5. (08/96)
- [7] Olav Overvik, Basiskunnskap hørsel, kapittel 1: Audiologi, Møller kompetansesenter, Statped, 2011.
- [8] Smestad, Frøysa, Staven, Vestli og Rolfsen. Lydgivende diskantegg, Høgskolen i Sør-Trøndelag, 2013.
- [9] Tor Erik Vigran, Building Acoustics, Taylor & Francis, New York, 2008.
- [10] Chaslav V. Pavlovic , Derivation of primary parameters and procedures for use in speech intelligibility predictions, Department of Speech Pathology and Audiology, University of Iowa, Iowa City, Iowa 52242, 1987.
- [11] Music Angel Europe - Produkter, <http://www.musicangel.no/produkter> 20/03-2014

- [12] Andreas Gjerstad, Parametrisk undersøkelse av foretrukne lydnivå ved tv-overført lyd og bilde, f. eks. sportsarrangement, Prosjektoppgave, Fakultet for Informasjonsteknologi, Matematikk og Elektroteknikk, NTNU, 2013.

8 | Vedlegg

8.1. UTSTYR

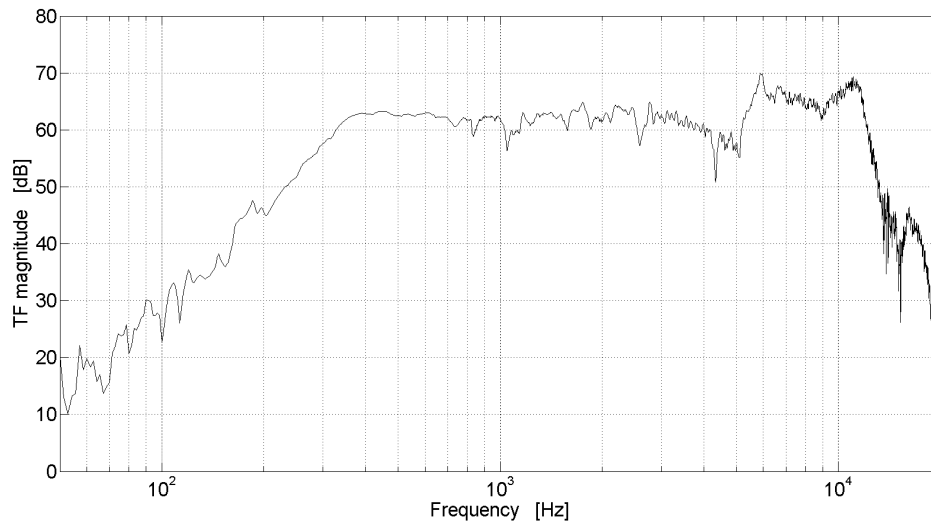
Tabell 8.1: Utstysrliste: Etterklangstidmålinger.

Utstyr	Produsent/Type	Serienr
Måleinstrument	Norsonic - Precision Sound Analyser Nor140	1404951
Kalibrator	Brüel & Kjær Type 4231	2010419
Lasermåler	Bosch PLR 30	887514578
Mikrofonstativ	-	-
Ballonger	Latex. D:22,5 cm.	-

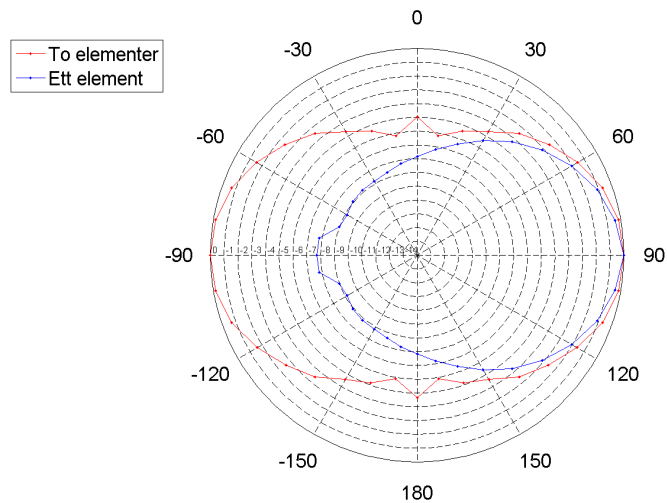
Tabell 8.2: Utstysrliste: STIPA-målinger.

Utstyr	Produsent/Type	Serienr
Testhøytaler for forbedret taleoppfattbarhet	MusicAngel.net, Music Angel Friendz, Model JH-MD04E2	852343796
Måleinstrument	Norsonic - Precision Sound Analyser Nor140	1404951
Kalibrator	Brüel & Kjær Type 4231	2010419
Lasermåler	Bosch PLR 30	887514578
Kilde-høytaler	GENELEC Active monitor Model 1029	029A041044
Lydkort	Focusrite Forte. FA0682-02	UR6230206113
Måle-PC	DELL Vostro 3550	DQ18BR1
Lydredigeringsprogram	Audacity 2.0.5	-
2 XLR-kabler	-	-
2 XLR-jack(6,3mm)	-	-
Jack(6,3mm)-Jack(3,5mm)-overgang	-	-
Skjøteledning for strøm	-	-

8.2. FREKVENSRRESPONS OG DIREKTIVITET FRA MÅLINGENE PÅ MUSIC ANGEL FRIENDZ



Figur 8.1: Frekvensresponsen for Music Angel Friendz fra målingene gjort med ett element på plate. Elementet er her rettet rett mot måleinstrumentet.



Figur 8.2: Direktiviteten for Music Angel Friendz med ett og to elementer. Her er det brukt normalisert RMS verdi og 10 graders oppløsning.[3]

8.3. MATLABKODE FOR BÅNDPASSFILTER OG HØYPASSFILTER

```
1 [Y, Fs, NBITS] = wavread('Lyd.wav'); % Leser inn lydsignalet som ...
   skal filtreres og lagrer dette i Y.
2 % Fs = Samplingsfrekvens.
3
4 -----
5 %%% Båndpassfiltrering:
6
7 %% Høypassfilter 1:
8 % N = orden = 2
9 % F3dB = cut-off 3dB frekvens = 5900
10 % Ap = Passbåndrippel = 0.01
11 % cheby1 = Tshebysjevfilter type 1
12 d = fdesign.lowpass('N,F3dB,Ap', 2, 5900, .01, Fs); % Lager en ...
   høypassfilterdesigner d.
13 Hd = design(d, 'cheby1'); % Bruker filterdesigneren d for å ...
   generere filterkoeffisientene i Hd.
14 y=filter(Hd,Y); % filtrerer y med filterkoeffisientene gitt av Hd.
15
16 %% Høypassfilter 1:
17 % N = orden = 1
18 % F3dB = cut-off 3dB frekvens = 400
19 % Ap = Passbåndrippel = 0.01
20 % cheby1 = Tshebysjevfilter type 1
21 d = fdesign.highpass('N,F3dB,Ap', 1, 400, .01, Fs); % Lager en ...
   høypassfilterdesigner d.
22 Hd = design(d, 'cheby1'); % Bruker filterdesigneren d for å ...
   generere filterkoeffisientene i Hd.
23 y=filter(Hd,y); % filtrerer y med filterkoeffisientene gitt av Hd.
24
25 %% Høypassfilter 2:
26 % N = orden = 2
27 % F3dB = 3dB cut-off frekvens = 200
28 % Ap = Passbåndrippel = 0.01
29 % cheby1 = Tshebysjevfilter type 1
30 d = fdesign.highpass('N,F3dB,Ap', 2, 200, .01, Fs); % Lager en ...
   høypassfilterdesigner d.
31 Hd = design(d, 'cheby1'); % Bruker filterdesigneren d for å ...
   generere filterkoeffisientene i Hd.
32 y=filter(Hd,y); % filtrerer y med filterkoeffisientene gitt av Hd.
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
```

```

43
44 %%% Høypassfiltrering:
45
46 %% Høypassfilter 1:
47 % N = orden = 1
48 % F3dB = cut-off 3dB frekvens = 400
49 % Ap = Passbåndrippel = 0.01
50 % cheby1 = Tshebysjevfilter type 1
51 d = fdesign.highpass('N,F3dB,Ap', 1, 400, .01, Fs); % Lager ...
    en høypassfilterdesigner d.
52 Hd = design(d, 'cheby1'); % Bruker filterdesigneren d for å ...
    generere filterkoeffisientene i Hd.
53 y=filter(Hd,Y); % filtrerer Y med filterkoeffisientene gitt av Hd.
54
55 %% Høypassfilter 2:
56 % N = orden = 2
57 % F3dB = 3dB cut-off frekvens = 200
58 % Ap = Passbåndrippel = 0.01
59 % cheby1 = Tshebysjevfilter type 1
60 d = fdesign.highpass('N,F3dB,Ap', 2, 200, .01, Fs); % Lager ...
    en høypassfilterdesigner d.
61 Hd = design(d, 'cheby1'); % Bruker filterdesigneren d for å ...
    generere filterkoeffisientene i Hd.
62 y=filter(Hd,y); % filtrerer y med filterkoeffisientene gitt av Hd.

```

8.4. SKJEMAER FOR SUBJEKTIVE UNDERSØKELSER

Tabell 8.3: Skjema for subjektive undersøkelser med testperson i lytteposisjon

1	2	3	4	5
Forferdelig	Dårlig	Greit	Bra	Utmerket
Veldig ubehagelig	Ubehagelig	Greit	Behagelig	Veldig behagelig

Tabell 8.4: Skjema for subjektive undersøkelser med testperson 1.6 m til siden for lytteposisjon

Hvordan oppfatter du den lille høyttaleren?
1: Negativt/forstyrrer
2: Litt negativt/forstyrrer litt
3: Merker den ikke
4: Litt positivt/gjør det litt lettere å følg med
5: Positivt/lettere å følge med