

TTT4850 Lyd og hørsel

Vår lydbelastning i hverdag og fritid

Brukerrettet informasjonformidling gjennom et interaktivt medium

Prosjektrapport
av

Jørgen Amundsen
Martin Dørum
Frode Jacobsen
Vetle Haflan
Jahn-Tommy Carlsen
Daniel Stusvik Haug



NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET

Forord

Denne prosjektrapporten er utarbeidet i forbindelse med faget *TTT4850 Eksperter i team - Lyd & hørsel - vår lydbelastning i hverdag og fritid* våren 2017 ved NTNU. Eksperter i team (EiT) går ut på at studentene skal utvikle samarbeidskompetanse ved å gjennomføre et prosjekt der refleksjon og læring av konkrete samarbeidssituasjoner er i fokus. Studentene er representert fra ulike studieprogram for å sikre et tverrfaglig kompetansefelt og et mer produktivt arbeid.

Vi ønsker å takke landsbylederne Odd Pettersen og Tim Cato Netland, og veileder Tron Vedul Tronstad for lån av utstyr og veiledning underveis i prosjektet.

Sammendrag

Forebyggende tiltak mot hørsselsskader har hittil har vært lite effektive, og vi vil i denne rapporten se på en alternativ fremgangsmåte. I dette prosjektet har vi gjort et forsøk på å lage en mer personlig tilnærming til opplysning, i form av en mobilapplikasjon som måler hvor mye lyd brukeren har blitt utsatt for. Basert på disse målingene forteller applikasjonen hva brukeren kan vinne på å være bevisst på lydeksponering.

Utvikling av en brukervennlig applikasjon basert på lydmålinger har vist seg å være en omfattende jobb. Jevnlige lydmålinger gjort med en mobiltelfon introdusere mange uforutsigbare støykilder. Gjennom forsøk har det kommet fram at det ligger en stor utfordring i å redusere lommestøy, altså støy som oppstår når mobiltelefonen ligger i lomma til en person i bevegelse. Nøyaktigheten på målingene krever stor presisjon i de numeriske modellene som ligger til grunn. Det er også en utfordring at ulike telefonmodeller har forskjellige mikrofoner, noe som krever at applikasjonen må tilpasses hver enkelt modell dersom den skal kunne nå et stort antall mennesker. Løsningene på disse problemene må hele tiden veies opp mot et ønske om brukervennlighet.

Resultatet av arbeidet er en prototype av en mobilapplikasjon som kan brukes som utgangspunkt for videre arbeid på området.

Innhold

1 Innledning	1
2 Teori	2
2.1 Hvordan vi hører	2
2.2 Hva er trygg lytting?	2
2.3 Desibel-skalaen	3
2.3.1 A-vekting	3
2.4 Temporært terskelskift	4
2.4.1 Definisjon	4
2.4.2 Hva forårsaker TTS?	4
2.4.3 Behandling	6
2.5 Lydbehandling	6
2.5.1 Mikrofoner og frekvensrespons	6
2.5.2 Ekvivalent lydnivå, L_{eq}	6
2.5.3 Filtrering	7
2.5.4 Kalibrering	7
3 Mobilapplikasjon	9
3.1 Plattform	9
3.2 Brukergrensesnitt	9
3.3 Informasjonsdatabase	10
3.4 Lydbehandling	10
3.4.1 Lydopptak	11
3.4.2 Filtrering og A-vekting	11
3.4.3 Utregning av dB-nivå	11
3.4.4 Aproksimering av TTS	11
4 Målinger	13
4.1 Lommedemping	13
4.1.1 Oppsett	13
4.2 Lommestøy	14
4.3 Mikrofonens frekvensrespons	14
4.3.1 Valg av rom	14
4.3.2 Oppsett og utstyr	14
4.4 Kalibrering	15
5 Resultater	16
5.1 Lommedemping og -støy	16
5.2 Mobilmikrofonens frekvensrespons	17
5.3 Kalibrering	17

6 Diskusjon	18
6.1 Mobilapplikasjon	18
6.1.1 Android som plattform	18
6.1.2 Brukergrensesnitt og brukertesting	18
6.1.3 Tilbakemelding til brukeren	18
6.2 Lydmåling og feilkilder	19
6.2.1 Lommedemping	19
6.2.2 Lommestøy	19
6.2.3 Mobilmikrofonens frekvensrespons	20
6.2.4 Kalibrering	20
6.2.5 TTS og måleintervall	20
6.2.6 A-vekting	21
6.3 Samfunnssnytte	21
6.4 Videre utvikling	22
6.4.1 Kalibreringsdatabase	22
6.4.2 Støykart	22
6.4.3 Simulering av hørselstap	22
6.4.4 Kondisjonelle lydopptak og adaptiv filtrering	23
7 Evaluering	24
7.1 Prosjektarbeidet	24
7.2 Tverrfaglighet i arbeidet	24
7.3 Individuelle tanker	24
8 Konklusjon	26
A Konvolusjon implementert i C	29
B dB-utregning implementert i C	30

Kapittel 1

Innledning

Overdreven eksponering for lyd og støy i hverdagen er en realitet for veldig mange, enten det er i arbeid eller på fritid. Selv om det stort sett er kjent at hørselsorganet er skjørt, kan det virke som om dette er noe som ikke blir tatt nok på alvor. Folkehelserapporten fra 2014 [10] konkluderer med at dersom man ser bort fra hørselstap som et resultat av aldring er, til tross for en rekke forebyggende tiltak, støyeksposering fortsatt den vanligste kilden til hørselsskader og -tap. Dette danner motivasjonen for vår problemstilling:

Hvordan kan vi bevisstgjøre folk på lydnivået i våre dagligdagse omgivelser ved hjelp av et enkelt og tilgjengelig opplysningsverktøy, for slik å kunne bidra til forebygging av hørselsskader?

Opplysningsapplikasjon

Vi lever i et samfunn hvor bruk av ulike former for digitalteknologi har blitt en svært viktig del av hverdagen. Over 90 prosent av Norges befolkning har i dag tilgang til en smarttelefon [13], og sammen med Internett har disse enhetene på mange måter revolusjonert hvordan vi mennesker kommuniserer med hverandre. I løpet av sekunder kan man dele bilder, videoer, musikk eller andre former for informasjon med personer over hele verden. På mange måter har man blitt vant med at informasjon skal være tilgjengelig når man selv ønsker.

FHI konkluderer med at de forebyggende tiltak mot hørselsskader som er gjort til nå ser ut til å ha hatt liten effekt. Vi ønsker å se på et alternativ til tradisjonell folkeopplysning og informasjonsformidling, og foreslå en mer interaktiv tilnærming hvor brukeren får personlig tilpasset informasjon. Dette vil vi gjøre gjennom å utvikle en mobilapplikasjon som kan analysere støyen i brukerens omgivelser og gi tilbakemelding til brukeren på bakgrunn av målingene. Gjennom en mobilapplikasjon tror vi at vi kan nå en større andel mennesker enn vi ville gjort gjennom for eksempel en plakat-kampanje. Vårt håp er at denne applikasjonen kan gjøre det mulig å gi relevant og personlig tilpasset informasjon om brukernes lydeksponering, og gjøre brukerne oppmerksomme på farene ved høye lydnivåer.

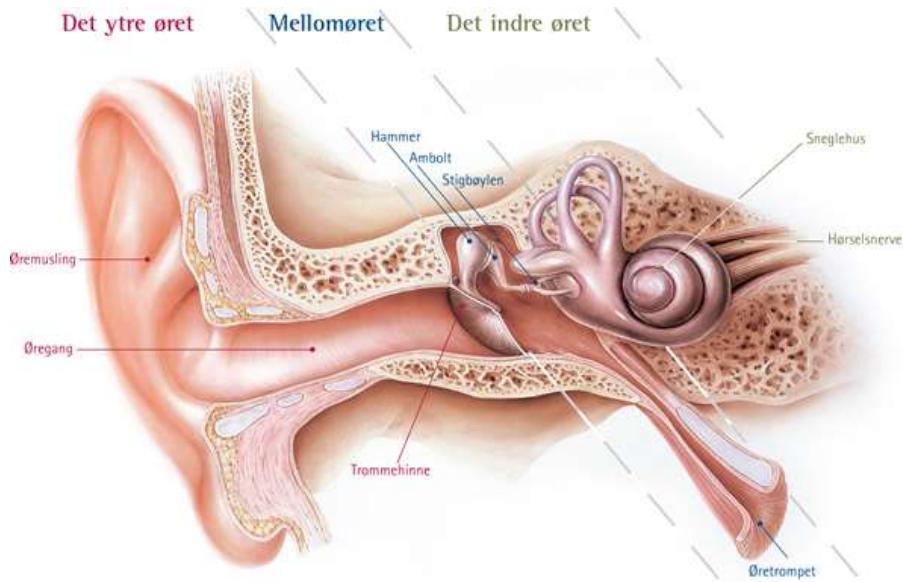
Gruppen består av 6 personer fra ulike studieretninger ved NTNU Gløshaugen og NTNU Dragvoll: Én fra medievitenskap, én fra datateknologi, to fra elektronikk, én fra produktutvikling, og én fra informatikk. Vi vil utnytte vår samlede kompetanse til å lage en prototype av en mobilapplikasjon som kan ta opp og analysere lyd i brukerens omgivelser, og gi brukeren tilbakemelding om potensielt farlig støy samt råd og informasjon om hvordan å bevare en normal hørsel.

Kapittel 2

Teori

2.1 Hvordan vi hører

Øret er organet som omdanner lydbølger til elektriske impulser som kan tolkes av hjernen. Øret er grovt sett delt i tre deler - det ytre øret, mellomøret og det indre øret. Enkelt forklart er det det ytre øret og mellomøret som forsterker lydsignalene. Disse signalene er vibrasjoner i form av trykksbølger som brer seg i luften. Vibrasjonene beveger seg inn øregangen og fører til bevegelse i trommehinnen. Inntil trommehinnen, i mellomøret, sitter hammeren, ambolten og stigbøylen. Disse blir satt i bevegelse av svingningene i trommehinnen og sender lyden videre inn i det indre øret. Der er det små hår som overfører bevegelsen til sensorceller og konverterer lydsignalet til et elektrisk signal som sendes langs nervebanen til hjernen. [20]



Figur 2.1: Illustrasjon av øret delt inn i det ytre øret, mellomøret og det indre øret [8].

2.2 Hva er trygg lytting?

Øret er utviklet for å kunne forsterke lyder vi naturlig utsettes for. Vanlige rekreasjonsaktiviteter, som rockekonserter og kinoopplevelser vil fort overstige nivåene til naturlige lyder, og har et åpenbart potensiale til å skade hørselen. Hvorvidt det er risiko for hørselsskader er avhengig av

lydstyrke og eksponeringstid. Høyeste trygge lydnivå er ansett for å være 85 dB over 8 timer, og de anbefalte tidene for trygg lytting synker ettersom lydnivået øker. Tabell 2.1 viser en oversikt over lydstyrke og maksimalt anbefalte daglige eksponeringstid. Denne tabellen viser blant annet at dersom man utsettes for et lydnivå på 100 dB i 15 minutter har man allerede fylt opp sin daglige "lydkvote" og burde derfor holde seg unna høye lyder resten av dagen.

Tid per dag	Lydnivå (L_{Aeq}) [dB]
25 timer	80
8 timer	85
2 timer 30 min	90
47 min	95
15 min	100
4 min	105
1 min 30 sek	110
28 sek	115
9 sek	120

Tabell 2.1: Forhold mellom lydnivå og anbefalt eksponeringstid. [11]

2.3 Desibel-skalaen

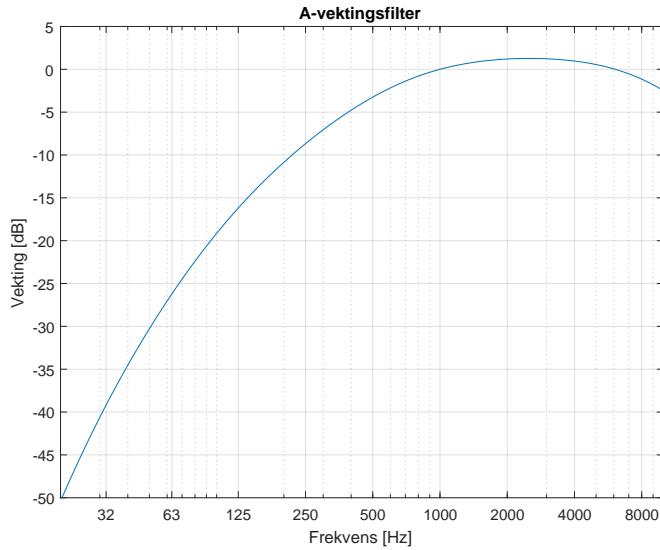
Lydstyrke angis vanligvis i desibel (dB). Desibel-skalen er en enhetsløs, logaritmisk skala som angir et forhold mellom en målt verdi, p , og en referanseverdi, p_0 :

$$dB = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (2.1)$$

Når man mäter lydstyrke (*sound pressure level, SPL*) er det vanlig å bruke ørets nedre følsomhetsgrense for lydnivå som referanse. Det vil si at $p_0 = 0 \text{ dB} = 20 \mu\text{Pa}$. Grunnen til at man bruker en logaritmisk skala for å angi lydnivå er at øret har en veldig stor spennvidde i lydtrykksfølsomhet. Den laveste lyden man kan høre ligger på $20 \mu\text{Pa}$, en normal samtale ligger rundt $20000 \mu\text{Pa}$, og et fullt symfoni-orquester kan komme opp i rundt $2000000 \mu\text{Pa}$. I mange sammenhenger er det mer praktisk å forholde seg til dB-skalaen, men den kan også være noe misvisende ettersom en økning på 6 dB tilsvarer en fordobling av lydtrykk. Sett i sammenheng med anbefalingene fra tabell 2.1 kan en se at dersom man øker lydnivået fra 85 dB til 88 dB må man halvere eksponeringstiden fra 8 til 4 timer.

2.3.1 A-vekting

A-vekting anvendes ofte når det foretas støymålinger, og er en måte å korrigere for forskjeller mellom faktisk lyd og det menneskeøret oppfatter. Menneskeøret er mindre sensitivt i de lave og helt øvre frekvensområdene, men har også en spesielt høy sensitivitet rundt 3 kHz. Denne effekten forsterkes ved lave lydnivåer [3]. Figur 2.2 viser hvordan et A-vektionsfilter demper de laveste og høyeste frekvensene og forsterker mellomskillet. Lydmålinger gjort med denne vektingen angis som regel med dBA-skalaen.



Figur 2.2: A-vektingskurve.

2.4 Temporært terskelskift

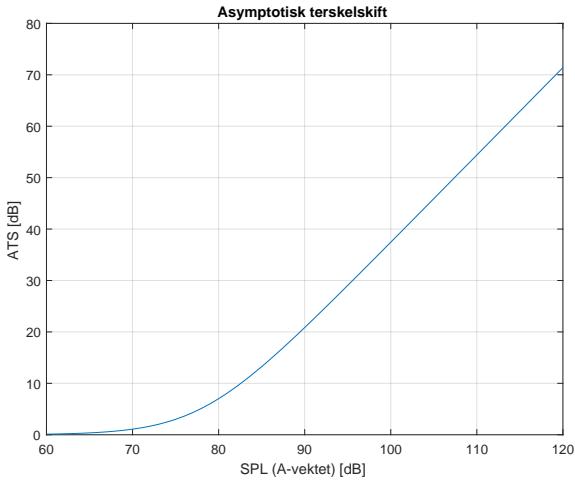
2.4.1 Definisjon

Mennesker som blir eksponert for et høyt lydtrykk over en viss tid vil oppleve et midlertidig hørselstap kjent som et temporært terskelskift (TTS). Dette reduserer følsomheten til øret og demper alle lyder i en periode. Varigheten på TTS kan variere fra noen sekunder til dager, i motsetning til permanent terskelskift der hørselen er nedsatt for alltid.

2.4.2 Hva forårsaker TTS?

TTS kan oppstå dersom man utsettes for intens lyd i et kort øyeblikk (for eksempel en eksplosjon) eller et høyt lyd- eller støy nivå over lengre tid (som en konsert). Vårt fokus vil være på støy over tid, som for eksempel støy man blir utsatt for i løpet av en arbeidsdag eller gjennom et par timer på en rockekonsert.

Det finnes flere modeller som beskriver hvordan TTS bygger seg opp som en funksjon av SPL over tid. Oppbygningen av TTS kan beskrives som en eksponentialfunksjon med en bestemt tidskonstant som bestemmer hvor raskt oppbygningen vil skje.

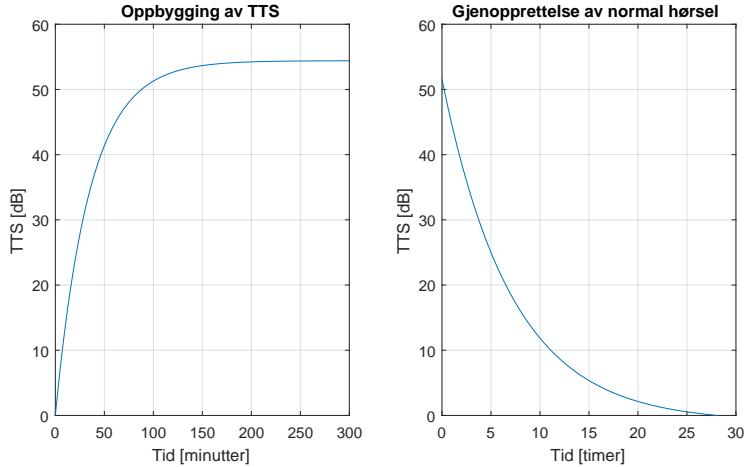


Figur 2.3: Modell for det maksimale terkselskiftet som kan oppnås gitt en bestemt SPL-verdi. Dette betyr eksempelvis at man vil oppnå maksimal TTS på omtrent 20 dB dersom man blir eksponert for 90 dB over lengre tid.

Etter å ha blitt eksponert for en bestemt SPL-verdi over flere timer vil TTS etter hvert nå et maksnivå. [9] For å finne den maksimale TTS-verdien brukes funksjonen som beskriver asymptotisk terskelskift (ATS) gitt i ligning 2.2. ATS-modellen er avbildet i figur 2.3. [1]

$$ATS = 1.7 \cdot \left(10 \log \left(\frac{I_e + I_c}{I_e} \right) \right) \quad (2.2)$$

I denne ligningen er $I_e = 10^{SPL/10}$, og I_c er en frekvensavhengig konstant som er gitt ved $I_c = 10^{C/10}$ der $C = 78$ dBA for bredbåndet støy [9]. Her antas det at gyldig SPL-område strekker seg helt opp mot 120 dBA selv om modellen er basert på testresultater i området 80 til 96 dBA.



Figur 2.4: Et eksempel på hvordan TTS bygger seg opp for deretter å reduseres når lydeksponeringen er overstått. Dette eksempelet er basert på en SPL-verdi på 110 dBA over 2 timer. Dette er svært høy lyd som det ikke er anbefalt å utsette seg for. Legg merke til at tidsaksen er i minutter på oppbygningen og i timer ved gjenopprettelsen av normal hørsel.

I figur 2.4 vises hvordan TTS bygges opp og avtar over tid som beskrevet av henholdsvis ligning 2.3 og ligning 2.4. Ulike tidskonstanter har blitt gitt i ulike publikasjoner. I denne oppgaven benyttes en rask tidskonstant for oppbygging slik at man faktisk oppnår TTS. Bakgrunnen for dette valget er at vi ønsker å sette fokus på at hørselen faktisk blir litt redusert under store lydbelastninger. På samme måte er tidskonstanten som bestemmer opprettelse av normal hørsel lenger for å få fram at hørselen trenger hvile etter lenger tid med høy lydeksponering. Tidskonstantene for oppbygging og opprettelse i denne oppgaven er satt til henholdsvis 35 minutter og 426 minutter.

$$TTS_{\text{onset}}(t) = ATS \cdot (1 - e^{-t/\tau_{\text{onset}}}) \quad (2.3)$$

$$TTS_{\text{offset}}(t) = TTS_{\text{onset}}(t_{\text{exposure}}) \cdot e^{-t/\tau_{\text{offset}}} - B \quad (2.4)$$

Her er t tiden i minutter, t_{exposure} er eksponeringstiden, τ_{onset} og τ_{offset} er tidskonstantene for henholdsvis oppbygging av TTS og gjenopprettelse av normal hørsel. B er en konstant som sikrer at TTS_{offset} etter hvert passerer null, da tanken er å få en tilbakemelding på hvor lang tid det tar før hørselen er tilbake til et normalt nivå.

Det er viktig å nevne at ATS-modellen baserer seg på A-vektet SPL, mens i dette tilfellet baseres ATS på A-vektet L_{eq} (se kapittel 2.5.2). På grunn av mangfoldet av effekter støy har på hørselen vil en eksakt modell av TTS være svært komplisert. Modellen vi benytter er derfor en forenkling med formål å estimere og informere om effekten av lydeksponering.

2.4.3 Behandling

Dersom man opplever et temporært terskelskift er det anbefalt å holde seg i stille omgivelser for å unngå å eksponere seg for høye lyder. Tiden det tar for normal hørsel å komme seg etter TTS varierer stort. Symptomene kan være alt fra et par timer til flere dager. Generelt sett er det anbefalt at lege oppsøkes dersom TTS er vedvarer lenger enn et par dager dager. [7]

2.5 Lydbehandling

2.5.1 Mikrofoner og frekvensrespons

Alle mikrofoner har, i likhet med øret, fysiske kvaliteter som gjør at opptak og måling av lyd ikke blir en nøyaktig gjengivelse av de faktiske akustiske svingningene. Denne tendensen til å dempe enkelte frekvenser og potensielt forsterke andre (se figur 2.2 for hvordan dette skjer i øret) kalles mikrofonens *frekvensrespons*. Mikrofoner som er eksplisitt laget for måling av lydnivå er svært nøyaktige og har en tilnærmet flat frekvensrespons.

Målet vårt er å gjennomføre lydmålinger ved hjelp av den innebygde mikrofonen i mobiltelefoner. Minimumskravet til en mobilmikrofon er at brukeren skal kunne gjøre seg forstått i en telefonsamtale, og frekvensresponsen til denne typen mikrofoner trenger derfor ikke å være særlig flat. Frekvensresponsen til mobilmikrofoner kan by på problemer når man forsøker å måle lydnivåer med en viss nøyaktighet.

2.5.2 Ekvivalent lydnivå, L_{eq}

Ekvivalent lydnivå, L_{eq} , er en tidsmidlet verdi for lydnivå. L_{eq} er hendig for å kunne bestemme et gjennomsnittlig lydnivå over en periode med varierende lydnivåer, og brukes blant annet for å sette støystandarder på arbeidsplasser og andre arenaer.

Ettersom dB-skalaen er logaritmisk, kan ikke L_{eq} utledes med enkel addering. I denne oppgaven har ligning 2.5 [5] derfor blitt benyttet for beregning av ekvivalent lydnivå.

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T_M} \cdot \int_0^{T_M} \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right) \quad (2.5)$$

Her er L_{Aeq} lineært vektet ekvivalent lydnivå målt over et tidsintervall T_M , $P(t)$ er A-vektet lydtrykk for tiden t , og P_0 er referanselydtrykk lik $20 \mu\text{Pa}$.

I praksis er det mulig å gjøre L_{eq} -målinger direkte for kortere tidsintervaller. Hvert av disse bidragene kan kombineres til en total L_{eq} , som vil utgjøre totalen for hele eksponeringsperioden. Total L_{eq} regnes ut med formel 2.6 [5] for n antall målinger. Denne formelen tar hensyn til at dB-skalaen er logaritmisk når den regner ut gjennomsnittsverdiene.

$$\text{Total } L_{EQ} = 10 \log_{10} \left(\frac{10^{\frac{L_{eq1}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq2}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq3}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{eqn}}{10}}}{n} \right) \quad (2.6)$$

L_{eq} er definert som et stabilt lydtrykksnivå som har den samme energien som den faktisk varierende støyen over en gitt tidsperiode. Dette er det samme som RMS-lydnivået (Root Mean Square) med målevarigheten brukt som gjennomsnittstiden. [4] Vi har i vår applikasjon benyttet RMS-metoden for beregning av lydtrykk.

2.5.3 Filtrering

Et *lineært, tidsinvariant system* (LTI-system) er kort fortalt et system som gitt et visst inngangssignal $x(t)$ produserer et utgangssignal $y(t)$, og kan illustreres som i figur 2.5. Utgangssignalet er en *lineær* kombinasjon av inngangssignalet og en rekke koeffisienter. [18] Det at et system er *tidsinvariant* vil si at enhver forsinkelse i inngangssignalet vil gi en tilsvarende forsinkelse i utgangssignalet, $H(x(t - \tau)) = y(t - \tau)$. [19]



Figur 2.5: Illustrasjon av et lineært, tidsinvariant system, H .

Et lineært, tidsinvariant system kan beskrives fullstendig med sin *impulsrespons*, $h[n]$. Impulsresponsen til et LTI-system finner en ved å sende en *impuls* gjennom systemet. For *diskrete* LTI-system benytter man Kronecker delta-funksjonen for å beskrive en slik impuls: [17]

$$\delta[n] = \begin{cases} 0, & n \neq 0 \\ 1, & n = 0 \end{cases} \quad (2.7)$$

Et *filter* kan beskrives som et LTI-system. For å filtrere et diskret inngangssignal, $x[n]$ med et gitt filter, utføres en *konvolusjon* av inngangssignalet med filterets impulsrespons:

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[n-k] \quad (2.8)$$

Ulike filtre endrer lydsignalet på ulike måter. Eksempelvis kan man utvikle et filter som demper alle frekvenser over eller under en gitt frekvens (lavpass/høypass-filter), bevarer alle frekvenser i et gitt område og demper resten (båndpass-filter) eller fjerner alle frekvenser i et gitt område (båndstopp-filter). Gjennom å designe et spesifikt filter kan en med andre ord fremheve enkelte aspekter ved et lydsignal og dempe andre. Dette er nyttig dersom man ønsker å kompensere for en mikrofons frekvensrespons eller A-vekte et lydsignal.

2.5.4 Kalibrering

Når en skal utføre lydmålinger er det viktig at utstyret viser riktig lydtrykk, og til dette trengs en kalibrering. For å kalibrere utstyr er det nødvendig med en kalibrator som er laget for å gi et kjent

lydtrykknivåsnivå. Dersom lydmåleren avviker fra kalibratorens nivå når det måles, må lydmåleren stilles inn slik at man korrigerer for feilen.

Det vil alltid finnes unøyaktigheter, men målet med en kalibrering er å bringe unøyaktigheten innenfor gitte grenser. Graden av nøyaktighet vil være avhengig av hvilken nøyaktighetsklasse lydmåleren hører inn under [12]. I dette prosjektet er kalibreringen basert på en skaleringsfaktor C gitt i ligning 2.9:

$$C = \frac{p_0 \cdot 10^{K/20}}{x_{RMS}} \quad (2.9)$$

Her er K den kjente dB-verdien til kalibratoren, $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ og x_{RMS} er inngangssignalet på vektorform. Denne ligningen er gitt i enheten for trykk, *Pascal*, så det endelige lydtrykket gitt i dB er gitt i ligning 2.10:

$$\text{Målt lydtrykk} = 20 \log_{10} \left(\frac{x_{RMS}}{p_0} \right) + 20 \log_{10} (C) \quad (2.10)$$

Kapittel 3

Mobilapplikasjon

3.1 Plattform

Smarttelefon-teknologien domineres i dag av to selskap, Apple og Google, med hvert sitt operativsystem, henholdsvis iOS og Android [6]. Forskjellene mellom disse to plattformene er mange, men det viktigste for en applikasjon som skal prosessere lyd er kvaliteten og hurtigheten til lydsystemet.

Apples iOS har en fordel når det kommer til sanntids-behandling av lyd, ettersom deres lydsystemer er bygget opp på en måte som lar programmer dra nytte av optimaliserte rutiner for lydprosessering som er innebygd i operativsystemet [2]. Android har lignende systemer, men med litt dårligere ytelse.

For en applikasjon ment for folkeopplysning vil antall brukere av en plattform si noe om hvor mange man potensielt kan nå med sitt budskap. Her har Android en klar fordel med en markedsandel på over 80% av alle nye enheter solgt i siste kvartal av 2016 [6].

En siste utfordring som må tenkes på for å få gjennomført nøyaktige lydmålinger er variasjon i de ulike lydkomponentene knyttet til enheten. iOS kjøres kun på Apples egne enheter iPhone, iPod Touch og iPad, og det vil dermed være forholdsvis enkelt å bygge opp en database med de ulike mikrofon-typenes frekvensresponser og tilsvarende kompenserende filtre. Android kjøres på et hav av ulike modeller fra mange ulike produsenter, og det vil følgelig bli en stor jobb å teste samtlige enheter for å få bygget opp en slik database.

Valget falt til slutt på Android, da tilgjengeligheten på utviklerverktøy og testenheter bidro til å utelukke iOS som plattform. Ytelsen på lydsystemet til Android er ikke et problem i vårt tilfelle, da sanntids-prosessering av lyd ikke er et krav, og eventuelle forsinkelser aldri vil bli merkbare for brukeren. Markedsandelen til Android er et stort pluss ettersom vi ønsker å nå ut til så mange som mulig. Det største problemet vil være å få nøyaktige resultater på alle de ulike enhetene som kjører Android.

3.2 Brukergrensesnitt

Utvikling av grensesnittet ble gjort gjennom først å lage et enkelt utkast for å få oversikt over hvordan applikasjonen kunne bli seende ut. Etter hvert som kravene til applikasjonen ble spesifisert mer presist ble elementer fra de tidlige forslagene forkastet eller byttet ut med nye forslag. Det første utkastet (figur 3.1) inneholdt en søyle for sanntidsvisning av lydnivå i desibel. Den ble senere erstattet av en graf som viser en oversikt over lydbelastningen over en lengre tidsperiode, da hensikten med applikasjonen ikke var lydmåling i seg selv, men å gi inntrykk av lydbelastning over tid. Brukergrensesnittet ble utviklet på papir gjennom flere iterasjoner før det endelige designet var på plass.

Figur 3.2 viser det endelige brukergrensesnittet til applikasjonen. Visningen til venstre viser en oversikt over lydbelastningen brukeren har blitt utsatt for den siste tiden. Med knappene under grafen kan brukeren velge lengden på tidsrommet som vises i grafen. Tekstfeltet under knappene vil



Figur 3.1: Første utkast.

vise informasjon relatert til de observerte lydnivåene og komme med morsomme sammenligninger eller anbefalinger om tiltak. Det er i tillegg tenkt at denne informasjonen skal dukke opp som notifikasjoner i låsevinduet dersom applikasjonen kjøres i bakgrunnen.

Til høyre i figur 3.2 er sidevisningen for TTS. Grafen i dette vinduet viser hvordan brukerens temporære terskelskift har utviklet seg over tid, og prøver å gi et anslag på hvor lang tid som gjenstår før hørselen er tilbake til normal funksjon. Tekstfeltet under grafen i denne visningen vil inneholde informasjon om TTS, samt komme med anbefalinger til hva man kan gjøre for å unngå permanent terskelskift.

Øverst i applikasjonsvinduet er det to brytere som kan benyttes av brukeren til å angi hvor mobiltelefonen befinner seg, og hvorvidt brukeren benytter seg av hørselsvern. Avhengig av bryterstillingene vil lydprosesseringsrutinene benytte seg av ulike filtre for å forsøke å gi en så nøyaktig måling som mulig.

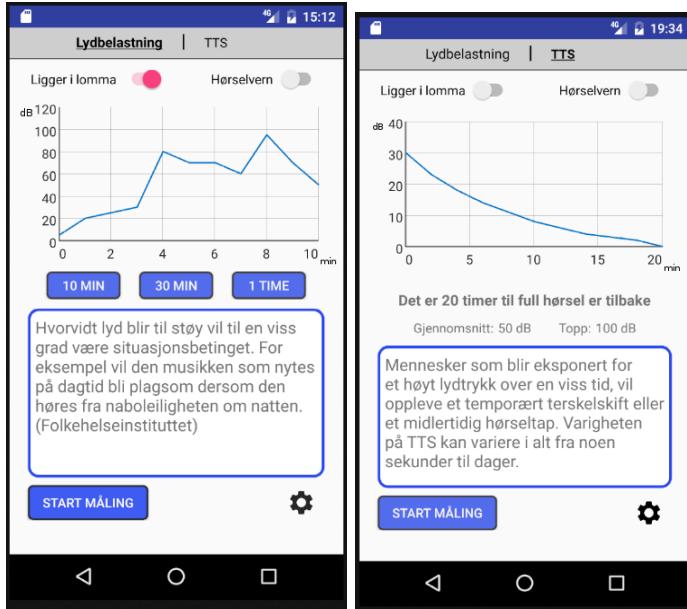
Det er også tenkt at det skal være en tredje sidevisning som skal fungere som en infoside. Denne er tenkt å inneholde mer informasjon om hørsel, hørselsskader, TTS og støy, samt linker til videre lesning og ulike interesseorganisasjoner.

3.3 Informasjonsdatabase

Hovedfunksjonen til applikasjonen skal være å gi brukeren informasjon og tilbakemelding knyttet til lydmålinger av brukerens omgivelser. For å kunne gjøre dette ble det bygget opp en database med informasjon om hørsel, hørselsskader, TTS, støy og dagligdagse lyder. Ved å knytte informasjonen i databasen til ulike umiddelbare dB-nivå og tidsmidllede L_{eq} -nivå er det mulig for applikasjonen å søke opp og hente ut informasjon direkte knyttet til de observerte verdiene og gi brukeren mest mulig relevant informasjon.

3.4 Lydbehandling

For å kunne måle støynivåer i brukerens omgivelser og kunne gi en vurdering av brukerens totale lydbelastning over tid blir det med jevne mellomrom tatt opp lyd gjennom telefonens integrerte mikrofon. Opptakene blir så sendt gjennom en lydprosesseringsroutine for utregning av dB-nivå.



Figur 3.2: Endelig design: Lydbelastning og TTS

3.4.1 Lydopptak

Lydopptakene blir gjort ved å kommunisere med telefonens mikrofon gjennom et grensesnitt (API) kalt OPENSL ES¹. Hvert lydopptak består av 1 sekund med lyd. Selve lydopptakene lagres kun i telefonens kortidsminne inntil lydprosesseringsrutinen er ferdig og skrives aldri til harddisken.

3.4.2 Filtrering og A-vekting

Før selve lydnivået kan regnes ut er det nødvendig å kompensere for mikrofonens frekvensrespons. Det er også ønskelig å kompensere for ulikheten mellom den faktiske lyden og det menneskeøret oppfatter gjennom A-vekting av lydsignalet. Dette ble gjort ved å implementere konvolusjon (ligning 2.8) og konvolvere lydsignalet med impulsresponsen til et A-vektionsfilter og et filter som kompenserer for den innebygde mikrofonens frekvensrespons. Se vedlegg A for C-implementasjonen av konvolusjon.

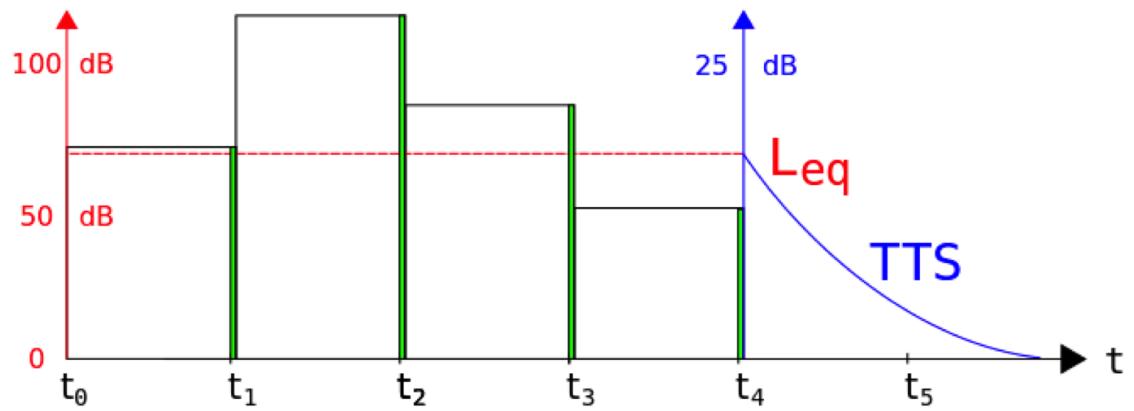
3.4.3 Utregning av dB-nivå

Etter at lydsignalet har blitt filtrert blir dB-nivået regnet ut ved bruk av Root Mean Square (RMS). Denne metoden finner gjennomsnittlig lydeffekt, w , over det sekund-lange lydopptaket. dB-nivået finnes ved å ta logaritmen av lydeffekten og gange resultatet med 20: $\text{dB} = 20 \cdot \log_{10}(w)$. For å få lydnivået til å stemme overens med det reelle lydtrykket er det benyttet en kalibreringsskalar. Se vedlegg B for C-implementasjonen av dB-utregningen. Det endelige dB-nivået blir så lagret i en database sammen med tidspunktet for målingen.

3.4.4 Approksimering av TTS

Applikasjonen gjør lydmålinger med faste intervaller, t_1, t_2, \dots og lagrer disse i en database sammen med tidspunktet for måling. Den lagrede dB-verdien basert på lydklippet vil da representere lydnivået for hele tidsrommet frem til neste lydopptak. Disse intervallene brukes til å regne ut L_{eq} for et gitt tidsrom. Denne verdien sier noe om hvor mye lyd brukeren har blitt utsatt for i det gitte

¹<https://www.khronos.org/opensles/>



Figur 3.3: Illustrasjon av TTS-utregning. De grønne stolpene representerer observerte lydnivåer på gitte tidspunkt. L_{eq} og TTS er skalert ulikt langs y-aksen.

tidsrommet. Ved hjelp av formelen for TTS (ligning 2.3 og 2.4) lages en graf som viser hvordan hørselen utvikler seg på bakgrunn av de observerte lydnivåene, samt en verdi for hvor mange timer det vil ta før hørselen er tilbake til normalt. Figur 3.3 viser prinsippet bak disse utregningene.

Kapittel 4

Målinger

Vår mobilapplikasjon baserer seg på opptak gjort fra en mobiltelefons interne mikrofon. Ettersom telefonen kan oppbevares mange ulike steder vil dette kunne by på en del problemer knyttet til lyddemping og uønsket støy. I de følgende underkapitlene beskrives en del målinger som undersøker disse utfordringene for å se hvor stor innvirkning de vil ha på kvaliteten til opptakene.

4.1 Lommedemping

Når mobiltelefonen ikke er i aktiv bruk vil de fleste gjerne oppbevare den et sted hvor man kan få en hindring mellom mobiltelefonens mikrofon og omgivelsene. Dette vil ikke være et problem dersom telefonen blir lagt på et bord, men dersom man oppbevarer den i lomma, veska eller sekken vil dette kunne dempe lyden som når mikrofonen.

4.1.1 Oppsett

For å måle hvor stor innvirkning lommedemping faktisk har, ble det foretatt målinger på akustikkavdelingen til SINTEF. Forsøket ble gjennomført ved å gjøre et lydopptak med en lydmåler både i og utenfor en bukselomme. Lydmåleren i dette eksperimentet var en iPod Touch med programmet *SPL Graph*¹ og den eksterne mikrofonen *MicW i436*² i tillegg til iPod-ens interne mikrofon. I programmet SPL Graph ble A-vektet L_{eq} brukt. Systemet ble kalibrert i forkant av opptakene. Lydkilden bestod av seksten 12-tommers høytalerelementer plassert på en vegg. Målingene ble gjort med ulike signaler, spilt fra et enkelt oppsett som vist i Figur 4.1. I første omgang var det rosa støy (tilfeldig støy med like mye energi i alle oktaver) og forskjellige frekvensbånd av den rosa støyen. For å ha en noe mer virkelighetsnær måling, ble låten "Comfortably Numb" av Pink Floyd benyttet.

På konserter eller andre typer arrangementer er det sannsynlig at man står inne i eller bak en viss folkemengde eller andre typer hindre. Hinderne vil typisk være tettere i lommehøyde enn ved ørehøyde. For å simulere slike situasjoner og se om dette resulterte i store differanser i lydtrykk, ble det, som vist i Figur 4.2, satt opp en skillevegg tett opptil mikrofonen i lomma.

¹http://www.studiosixdigital.com/audiotools-modules-2/spl-modules/leq_graph/

²<http://www.micwaudio.com/product.php?id=3>



Figur 4.1: Mikser og avspillingsenhet.



Figur 4.2: Lydrom. Skilleveggene simulerer en lyddempende hindring.

4.2 Lommestøy

Etter et testopptak med forsøksmobilen plassert i bukselommen til en testperson i bevegelse ble det oppdaget at bevegelsen forårsaket mye støy når mobilens mikrofon gnisset mot innsiden av bukselommen. Det ble undersøkt om det var mulig å filtrere bort denne støyen ved bruk av dataprogrammene MATLAB og AUDACITY.

I MATLAB ble frekvensresponsen til testopptaket studert sekund for sekund for å se om det var støy innen et bestemt frekvensbånd som skilte seg ut, og hvorvidt denne støyen kunne fjernes ved bruk av et stoppbånd-filter. AUDACITY inneholder kraftige, adaptive støyfjerningsalgoritmer som tar inn et lydklipp av støyen man ønsker å fjerne, analyserer den, og designer et støyreduksjonsfilter på bakgrunn av visse karakteristikker i støyen. Dette støyfjerningsverktøyet ble forsøkt brukt til å fjerne lommestøyen fra lydklippene.

4.3 Mikrofonens frekvensrespons

For å kunne kompensere for ulikheter mellom den virkelige lyden og lyden tatt opp av mobiltelefonens mikrofon, var det nødvendig å undersøke mobilmikrofonens frekvensrespons. Da det ikke fantes tilgjengelig dokumentasjon på testmikrofonens frekvensrespons ble det gjennomført målinger for å fastlå denne.

4.3.1 Valg av rom

Det var ønskelig å gjennomføre målingene i et rom som “farget” opptakene minst mulig, særlig med tanke på effekter som ekko og romklang. Ekkofritt rom i O.S. Bragstadspllass 2, Elektro C ble reservert for dette formålet, da rommet er tilnærmet totalt ekko- og klangfritt.

4.3.2 Oppsett og utstyr

Målingene ble utført med mobilmikrofonen konsentrisk plassert et par meter fra basselementet på en aktiv monitor, nærmere bestemt *Dynaudio BM6A*³. Mens mobilen tok opptak ble det spilt av en “sinus sweep” – en lyd med kontinuerlig økende frekvens – ved hjelp av programmet EASERA, som i dette tilfellet gjennomgikk hele frekvensspekteret fra 50 Hz til 20 kHz.

³<https://www.dynaudio.com/professional-audio/classic-bm-range/bm6a>



Figur 4.3: Oppsett for måling av mikrofonens frekvensrespons i ekkofritt rom.

For å ta hensyn til at mobiltelefonens form vil forårsake diffraksjon (refleksjoner av lyd fra selve mobiltelefonen som vil påvirke lyden som når mikrofonen), ble mobilens frekvensrespons målt der mobilen sto på høykant slik som vist på bildet i figur 4.3 og ved å vende den 90° til siden.

Ettersom høyttaleren har en egen frekvensrespons ble det brukt en referanse mikrofon som er tilnærmet flat i det hørbare frekvensdomenet. Referanse mikrofonen ble plassert på samme posisjon som mobiltelefonen.

Videre ble dataene behandlet i MATLAB der frekvensresponsen til mobilen ble dividert på referanse mikrofonens frekvensrespons.

4.4 Kalibrering

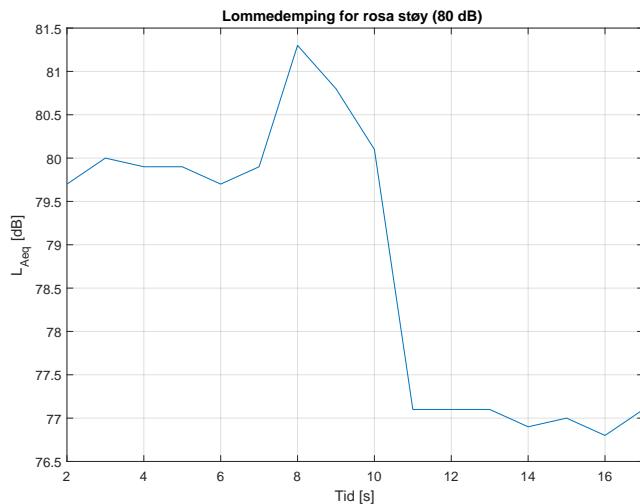
Kalibrering av mobilapplikasjonens lydmåler ble gjort raskt og enkelt for at det skulle være mulig å få gjennomført praktiske tester av applikasjonen så fort som mulig. Kalibreringen ble utført ved å spille av en sinustone med frekvens 1 kHz. En iPod Touch med den eksterne mikrofonen "MicW i436" og programmet "SPL Graph" ble brukt som kalibrator. Kalibratoren hadde allerede blitt kalibrert på forhånd. Ved å gjøre et opptak på testmobilen i samme posisjon som kalibratoren kunne man finne en skaleringsfaktor som ga samme lydtrykk som det kalibratoren viste.

Kapittel 5

Resultater

5.1 Lommedemping og -støy

Målingene av lommedempingen viste at lydnivået ble dempet med ca. 3 dB da mobilen var plassert i lommen ved avspilling av rosa støy med et lydtrykk på ca. 80 dB, se figur 5.1.



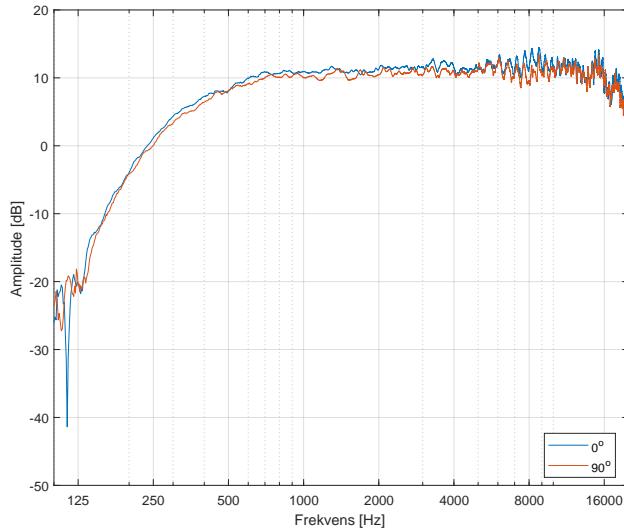
Figur 5.1: De første sekundene viser mobilens plassering ved ørehøyde. Etter 10-12 sekunder er mobilen plassert i bukselomma. Toppen mellom 9-10 sekunder er støy fra da mobilen ble plassert i lomma. Figuren viser at lyden er dempet fra ca. 80 dB til 77 dB.

For Pink Floyd-sangen var det vanskelig å se noe forskjell i lydnivå avhengig om mobilen var i lomma eller ikke. For lavere frekvensbånd ble faktisk mobilens lydnivå høyere da den ble plassert i lomma. Vi mistenker at dette skjer på grunn av at låret reflekterer lyden tilbake til mikrofonen og dermed forsterker lydstyrken. For høyere frekvensbånd (fra 5 til 20 kHz) ble lyden dempet 4-5 dB. Lyden blir med andre ord forsterket for lavere frekvenser og dempet for høyere frekvenser. Dette betyr at for bredbåndet lyd blir det A-vektede lydtrykket nokså likt uavhengig om mobilen befinner seg i lomma eller ikke.

Måling av lommestøy viste at støy forårsaket av gnissinger når mobilen ligger i lomma kan potensielt bli et stort problem. Støyen var bredbåndet og vanskelig å fjerne ved bruk av et enkelt båndstopp-filter. Støyfjerning med AUDACITYs støyfjerningsverktøy bedret opptakene betraktelig, men de var fortsatt preget av mye støy. Vurderingene av kvaliteten ble gjort både gjennom å høre på de filtrerte opptakene og ved å studere frekvensspektre.

5.2 Mobilmikrofonens frekvensrespons

Målingene av mobilens interne mikrofons frekvensrespons er vist i figur 5.2.



Figur 5.2: Mobilens frekvensrepsons for 0° og 90° .

Figur 5.2 viser at frekvenser under ca. 125 Hz er ugyldige. Over 125 Hz er frekvensresponsene for 0° og 90° rotasjon av mobilen nesten identiske. Selv om det er noen variasjoner på 2-3 dB i frekvensområdet 600 Hz til 16 kHz, viser grafen at frekvensresponsen til mikrofonen i dette området er ganske flat. Det største problemet er at mikrofonen demper lyden svært kraftig for frekvenser under 600 Hz, med en differanse på omtrent 30 dB fra oktavbåndene 125 til 500 Hz.

5.3 Kalibrering

Opptaket fra mobilen ble analysert i MATLAB, og en skaleringsfaktor som tilsa at opptaket hadde et lydtrykk på 90 dB ble konstruert. Dette vil si at $K = 90$ dB i ligning 2.9. På denne måten finner man C slik at det endelig lydtrykket målt av mobilen er gitt i ligning 2.10.

Testing av hvor nøyaktig lydtrykk mobilapplikasjonen faktisk målte etter kalibrering ble gjennomført ved å sammenligne med et dosimeter. Ved test av ulike sinustoner som lydkilde viste det seg at applikasjonen hadde ganske god nøyaktighet rundt lydstyrker på 90 dB, men fikk avvik opp i mot 12 dB for lydstyrker rundt 40 dB.

Kapittel 6

Diskusjon

Prototypen av opplysningsapplikasjonen slik den er i dag er ikke i nærheten av å være et lanserbart produkt, men er nyttig som et ledd i å undersøke mulighetene for en folkeopplysningskampanje rettet mot hørselsskader og støybelastning. Vi har undersøkt mulighetene for folkeopplysing gjennom en mobilapplikasjon, og vil her vurdere de ulike faktorene som spiller inn på gjennomførbarheten til prosjektet. Arbeidet med prototypen har gjort oss oppmerksomme på de mange utfordringene som må overkommes før troverdige målinger kan ligge til grunn for brukertilpasset informasjonsformdiling. Gjennom arbeidet har det også dukket opp mange muligheter til videreutvikling av funksjonalitet. Dette vil bli utforsket i slutten av dette kapittelet.

6.1 Mobilapplikasjon

6.1.1 Android som plattform

Selve valget av plattform ble tatt delvis som en følge av tilgjengelighet. Google tillater hvem som helst å gå til anskaffelse av utviklingsverktøy til Android uten kostnad. For å kunne utvikle for Apples iOS er man nødt til å betale en lisens per utvikler. Uten en gratisløsning for studenter utelukket dette iOS som en mulighet. Når det er sagt er det fullt mulig å benytte seg av applikasjonsarkitekturen vi har utviklet og skrive en tilsvarende versjon for iOS.

Applikasjonen er ikke avhengig av lav forsinkelse i sanntidsprosessering av lyd, og det er dermed ikke et problem at Android har litt lavere ytelse enn iOS på dette området. Med tanke på vårt mål om å nå flest mulig gjør Androids markedsandel det til det naturlige valget.

6.1.2 Brukergrensesnitt og brukertesting

Applikasjonens brukergrensesnitt er et enkelt og funksjonelt grafisk grensesnitt som presenterer brukeren med den informasjonen som er relevant for å gi et inntrykk av støybelastning over tid. Ideelt sett burde vi ha gjennomført brukertester på uavhengige testpersoner og foretatt endringer basert på disse. Som en prototype er brukergrensesnittet mer enn godt nok til å gi et inntrykk av applikasjonens formål.

6.1.3 Tilbakemelding til brukeren

Applikasjonen er tenkt som et opplysningsverktøy, og informasjonsdatabasen er et sentralt ledd i å gi brukeren informasjon og anbefalinger knyttet til de observerte støynivåene. Ettersom informasjonen i databasen kan søkes opp på bakgrunn av observert lydnivå kan man bygge opp et sett med generiske setninger som kan fylles ut med den aktuelle informasjonen. Denne måten å gi tilbakemelding til brukeren på er inspirert av Slutta¹ – en applikasjon utviklet av Helsedirektoratet

¹<https://helsenorge.no/rus-og-avhengighet/snus-og-roykeslutt/fa-hjelp-til-a-slutte-med-app-chat-og-pa-nett>

for å hjelpe med snus- og røykeslutt. Slutta gir tilbakemelding til brukeren hvor mye penger den har spart på å slutte med røyk eller snus, og kommer med morsomme idéer til hva man kan bruke pengene på.

Informasjonen i databasen er hentet fra publikasjoner av blant annet World Health Organization [20] og Folkehelseinstituttet [10]. Tanken er at informasjonen skal være lettfordøyelig og skal kunne forstås uten inngående kunnskap om lyd og hørsel. Informasjonsdatabasen er konsentrert rundt de følgende spørsmålene:

- Hvorfor bør man ha fokus på lyd og hørsel?
- Hva er trygg lytting?
- Hvordan kan man bli skadet av lyd og støy?
- Hvordan kan støyskader behandles?
- Hva kan gjøres for å begrense støy?
- Hva er de langsiktige konsekvensene av støyeksposering?

Databasen inneholder i tillegg en rekke sammenligninger mellom desibel-nivå og kjente lydkilder.

6.2 Lydmåling og feilkilder

6.2.1 Lommedemping

Selv om lommedempingen ikke virket betydelig høy i forsøkene som ble utført er det ikke helt på sin plass å fullstendig ignorere den. Målingene ble utført i ideelle omgivelser, og forskjellene mellom laboratoriet og den virkelige verden kan være store. Det ble gjort forsøk på å simulere demping som følge av ulike hindringer mellom mikrofonen og øret, men den store mengden variabler gjør det vanskelig å trekke entydige konklusjoner fra forsøkene.

Lommedempingen hadde vært mer kritisk dersom applikasjonen hadde presentert et frekvensspekter. Da hadde man nok tydeligere sett hvordan lavere frekvenser hadde blitt forsterket og høyere frekvenser dempet av lomma. Dette vil også ha en innvirkning på målingene dersom brukeren oppholder seg i omgivelser med en overvekt av lav- eller høyfrekvent lyd.

For å få så nøyaktige målinger som mulig burde demping og forsterkning av lyd i ulike frekvensbånd bli tatt med i betraktingen. Gjennom flere forsøk kunne man utarbeidet et filter som demper lavere frekvenser og forsterker høyere frekvenser. Dette vil bidra til å jevne ut det observerte frekvensspekteret og føre det nærmere den virkelige lyden.

6.2.2 Lommestøy

Forsøkene viser at støy som oppstår når mobiltelefonens mikrofon gnisser mot innsiden av en bukselomme eller innsiden av en veske kan bli problematisk. All lommestøy er kritisk for målingene dersom den er høyere enn lyden fra omgivelsene. Den bredbåndete støyen er vanskelig å filtrere ut med enkle filtre. Videre forsøk med mer komplekse støyfjerningsalgoritmer er nødvendig for å kunne fastslå om dette er et problem som lar seg løse eller ikke.

Dersom det viser seg at lommestøyen ikke lar seg filtrere ut på en tilfredsstillende måte vil det være mulig å løse problemet på andre måter. Man kan eksempelvis benytte en ekstern mikrofon, enten mikrofonen til en "hands-free"-enhet eller en dedikert mikrofon festet på utsiden av klesplagg. Problemet med en slik løsning er brukervennligheten. Tanken er at applikasjonen skal være enkel å bruke, og målingene skal følge brukeren hvor enn den er. Dersom det blir nødvendig å knytte eksternt måleutstyr til applikasjonen forsvinner noe av hensikten.

Selv om lommestøy kan vise seg å bli vanskelig å filtrere ut, skal det sies at dette er lydnivåer som ikke er på langt nær de nivåene som begynner å bli kritiske for øret. Dersom man retter fokuset til applikasjonen mot situasjoner med svært høy lyd over lengre tid vil man kunne se bort

fra denne støyen. Med denne løsningen vil man miste muligheten til presise støymålinger gjennom hele dagen, men ivareta muligheten til å følge med på helseskadelige lydnivåer.

6.2.3 Mobilmikrofonens frekvensrespons

For å foreta så nøyaktige lydmålinger som mulig ønskes en frekvensrespons som er så flat som mulig. Forsøk gjort med testtelefonens mikrofon viser en kraftig demping av frekvenser under 600 Hz (figur 5.2). Det er vanlig at mikrofoner har en demping av de laveste frekvensene, men en så kraftig demping som starter så tidlig er uvanlig.

Det er flere potensielle feilkilder ved målingen av frekvensrespons. Høyttaleren brukt til å generere lyd i forsøket har en egen frekvensrespons, og dette kan farge lyden som spilles av. Forsøket ble gjennomført ved bruk av en referanse mikrofon, og det skal i teorien eliminere påvirkningen av høyttalerens frekvensrespons. Bruk av en referanse mikrofon introduserer en ny potensiell feilkilde. Dersom referanse mikrofonens frekvenspons ikke er helt flat vil dette kunne påvirke utregningen av testmikrofonens frekvensrespons.

Avstanden mellom høyttaleren og mikrofonene er også en potensiell feilkilde. For å begrense effekten av interferens er det ønskelig å gjøre målinger i fjernfeltet. Posisjonering av test- og referanse mikrofon mellom tester kan også føre til unøyaktigheter i målingene. En siste mulig feilkilde er eventuelle feil i signalprosesseringen som ligger til grunn for de beregnede frekvensresponsene.

For å korrigere for den observerte frekvensresponsen ble det implementert et filter som fungerer som en invers av frekvensresponsen. Filteret vil altså forsterke alle frekvenser som dempes av frekvensresponsen til mikrofonen og dermed gi et resultat som ligger nærmere den faktiske lyden.

6.2.4 Kalibrering

Kalibratoren brukt for kalibreringen er ikke kalibrator som tilfrestiller noen profesjonelle standarder. Kalibreringsmetoden som ble brukt var svært forenklet, og det er derfor mange potensielle feilkilder her. Målingene som ble gjort viste store avvik mellom referansen og lydnivået rapportert av applikasjonen. Det vil kreves videre arbeid med kalibreringsmetoden før applikasjonen kan sees på som en troverdig lydmåler. Det vil også kreves videre testing av og arbeid med nøyaktigheten til de andre leddene i lydproseseringen før det i det hele tatt er et poeng å foreta en mer nøyaktig kalibrering.

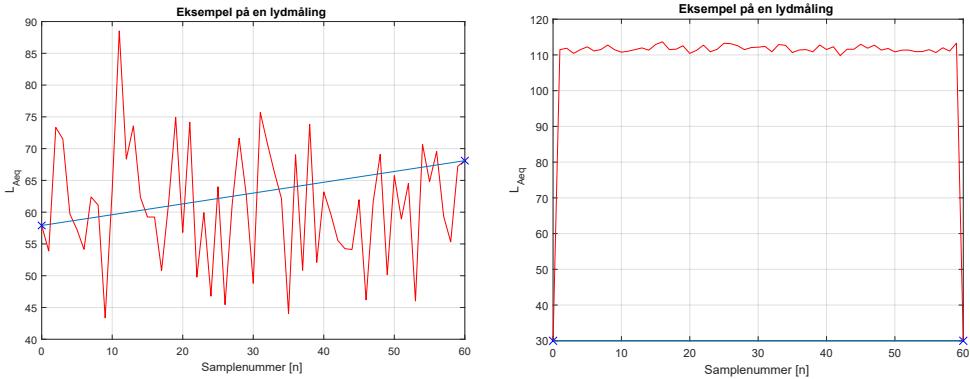
6.2.5 TTS og måleintervall

En utfordring i utregningen av L_{eq} for bruk i utregning av TTS er hyppigheten av lydmålinger. Utregning én gang f.eks. hvert femte minutt er garantert altfor unøyaktig til å kunne gi statistisk signifikante resultater. Samtidig er dette en avveining mellom nøyaktighet og batteribruk. Mobiltelefonen er et verktøy som brukes gjennom hele dagen til en rekke ulike oppgaver. Det er derfor ønskelig å unngå stor belastning på batteriet.

Lydmålinger basert på ett sekund med lyd tatt med et visst mellomrom betyr at man ikke vet noe om lyden mellom hvert opptak. Våre utregninger av L_{eq} antar at dette ene sekundet med lyd er representativt for hele måleintervallet. Dette er en antagelse som kun kan gjøres dersom måleintervallet er svært kort. Og i vårt tilfelle vil det unektelig oppstå en interpolasjonsfeil.

Hvis man antar lineær interpolasjon, så vil feilen være proporsjonal med kvadratet av avstanden mellom to datapunkter [16]. Ideelt sett burde applikasjonen gjort kontinuerlige opptak, men dette krever svært mye batterikraft. Figur 6.1 viser to simulerte målinger. Grafen til venstre viser data som er normalfordelt med en forventningsverdi på 60 dB og standardavvik på 10 dB. Her er måletidspunktene gitt ved $t_0 = 0$ og $t_1 = 60$ (markert som blå kryss), noe som gir et måleintervall på ett minutt. Ved et slikt tilfelle er den faktiske gjennomsnittsverdien 60.9 dB, mens gjennomsnittet av de to målingene gir en verdi på 63.0 dB.

Dataene i simuleringen til venstre er normalfordelt, og avviket mellom faktisk og observert gjennomsnitt vil derfor ikke være veldig stort. Grafen til høyre viser et eksempel på en situasjon hvor avviket vil bli mye større. Her er målingene gjort på to tidspunkt hvor det er helt stille



Figur 6.1: Støysimulering der verdien måles én gang per minutt.

(rundt 30 dB). I tidsrommet mellom disse målingene viser det seg derimot at lydnivået er oppe i en snittverdi på hele 110 dB. Dette eksempelet vil gi et avvik mellom observert og faktisk gjennomsnitt på hele 80 dB.

En annen potensielle feilkilde er alle impuls-lydene som vil oppstå i løpet av et tidsintervall. Det er stor sannsynlighet for at disse ikke blir plukket opp akkurat under måling. Om en kraftig impulsiv lyd har en varighet på ca. ett sekund, og det samples én gang i minutten er det kun en sannsynlighet på 1.67% at denne blir tatt opp.

6.2.6 A-vekting

Med tanke på hvor stort utslag de andre feilkildene har på applikasjonens nøyaktighet, har A-vektingen sannsynligvis ikke hatt så mye betydning i dette tilfellet. Hvis man derimot finner løsninger på de andre problemene og dermed øker nøyaktigheten betydelig, vil man sannsynligvis komme til et punkt hvor A-vekting er essensielt. I så tilfelle ville man også implementert en mer kompleks form for A-vekting, og ikke den naive løsningen som ble valgt i dette prosjektet.

6.3 Samfunnsnytte

Formålet med å utvikle en mobilapplikasjon for å drive folkeopplysning om lydbelastning og hørselskader er å kunne nå gjennom til brukeren på en måte som opplysningskampanjer til nå ikke har klart. Vi tror at gjennom å presentere brukeren for informasjon direkte knyttet til brukerens egne omgivelser vil kunne bidra til å tydeliggjøre risikoen knyttet til store lydbelastninger.

Gjennom å sammenligne lydbelastningen brukeren har blitt utsatt for med andre, kjente lyder vil vi sette dagligdagse lydbelastninger i et nytt perspektiv. Formelen for ekvivalent lydnivå L_{eq} kan eksempelvis benyttes til å sammenligne en konsertopplevelse med et gitt antall sekunder rett ved siden av en flymotor. Selv om slike sammenligninger ikke nødvendigvis er helt gyldige ønsker vi å vise at lydbelastning over tid må tas på alvor.

Det er fullt mulig å utvide funksjonaliteten til applikasjonen til å kunne sammenligne utviklingen av TTS med og uten ørepropper. Ørepropper som demper alle lyder med opp mot 30 dB [14] har en dramatisk positiv effekt og nærmest eliminerer TTS. Gjennom å presentere denne informasjonen for brukeren håper vi å illustrere effekten av enkle grep man kan gjøre for å beskytte hørselen.

Større undersøkelser vil være nødvendig for å kunne fastlå den virkelige effekten av vår mobilapplikasjon. For å se om brukernes atferdsmønster endres gjennom bruk av applikasjonen må man gjennomføre brukerundersøkelser i flere stadier. En eventuell helsegevinst vil ikke være mulig å oppdage før om flere år. Et viktig aber er at man må være oppmerksom på eventuelle negative effekter en slik applikasjon kan ha. Gjennom å presentere målinger fra brukerens omgivelser kan

det tenkes at noen brukere kommer til å etterstrebe å få målt så høye verdier som mulig. Eksperimentering med høye lyder er en risikosport, og uten passende beskyttelsesutstyr er det svært lett å skade hørselen.

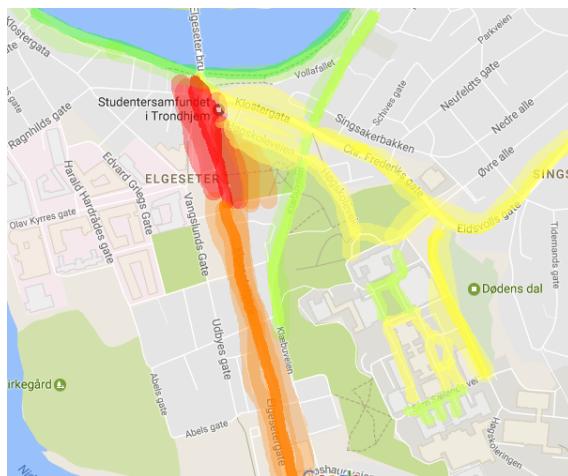
6.4 Videre utvikling

6.4.1 Kalibreringsdatabase

For å sikre at applikasjonen gir nøyaktige lydmålinger uavhengig av telefonmodell vil det være nødvendig å kunne kalibrere applikasjonen for ulike mikrofoner og lydsystemer. For at brukeren ikke skal behøve å gjøre dette manuelt vil det være ønskelig å bygge opp en database med kalibreringsskalarer og filtre som kompenserer for frekvensrespons for ulike produsenter og modeller. Dette kan gjennomføres ved å utføre målinger av de ulike modellene eller innhente denne informasjonen fra produsenter der det er tilgjengelig.

6.4.2 Støykart

Dersom man hadde knyttet opp hver lydmåling til geolokasjon gjennom GPS-enheten på smarttelefonen vil det være mulig å presentere et støykart for brukeren. En illustrasjon på hvordan et slikt støykart kan se ut er gitt i figur 6.2. Støykartet vil gi en oversikt over typiske støynivå i områdene brukeren oppholder seg. Det vil også være mulig å samle inn anonymiserte lydmålinger fra brukerne. Med en nøyaktig nok lydmåler og mange nok brukere vil det være mulig å innehente støydata fra større deler av landet.



Figur 6.2: Illustrasjon av brukergenerert støykart.

6.4.3 Simulering av hørselstap

Som et ledd i jobben med å øke bevisstheten rundt hørselsskader kunne det være interessant å se på mulighetene til å simulere ulike grader av hørselstap og tinnitus. Dette er inspirert av applikasjonen Listen Up² laget av Listen AS. Listen Up lar deg bruke mobiltelefonen som et høreapparat. Etter å ha gjennomført en hørselstest kan brukeren benytte mobiltelefonen og øreplugger til å forsterke lyden i de frekvensområdene den sliter mest med. Vår tanke er det kan være mulig å gjøre noe tilsvarende, men bruke lyd i motfase for å dempe ulike frekvensområder. Slik kan man simulere ulike grader av hørselstap. Dette vil sette store krav til hurtigheten til lydprosesseringsalgoritmene, og er kun mulig med minimal forsinkelse i sanntidsproseseringen. En litt enklere mulighet vil

²<http://listenas.com/jul/>

være å simulere ulike varianter av tinnitus ved å sende høyfrekvente toner og suselyder gjennom ørepropene.

6.4.4 Kondisjonelle lydopptak og adaptiv filtrering

Smarttelefoner er utstyrt med en rekke sensorer som kan benyttes til å gjøre antakelser om hvor telefonen befinner seg. Det innebygde akselerometeret som finnes i de fleste moderne telefoner kan benyttes til å finne ut om en person er i bevegelse eller sitter i ro.

Som et ledd i å løse problemet med lommestøy kan det være mulig å legge inn begrensninger på når applikasjonen foretar lydmålinger. Dersom telefonens bevegelsesmønster indikerer at den ligger i en lomme eller lignende vil lydmålingen være preget av lommestøy. Det kan derfor legges inn en regel i applikasjonen om ikke å ta opp lyd dersom det er sannsynlig lommestøy vil prege opptaket.

Dersom telefonens sensorer indikerer at telefonen ligger flatt er det naturlig å anta at den ligger på et bord eller lignende. Da vil det ikke være nødvendig å kompensere for lommedemping, og lommedempingsfilteret kan skrues av.

Kapittel 7

Evaluering

Arbeidet i faget *TTT4850 Ekspert i Team* er ment som et tverrfaglig prosjekt som skal gi trening i å arbeide i sammensatte grupper. Vi ønsker i dette kapittelet å gi en vurdering både av prosjektarbeidet i sin helhet og vår evne som gruppe til å utnytte fagkompetansen til det enkelte gruppemedlem.

7.1 Prosjektarbeidet

Prosjektarbeidet ble i grove trekk fordelt mellom en forskningsgruppe og en programmeringsgruppe. Forskningsgruppen utførte målinger og innhentet informasjon, mens programmeringsgruppen jobbet med å utvikle selve prototypen. I etterkant har vi innsett at en slik struktur krever god planlegging og oversikt. Det kunne hatt mye for seg å sette opp en detaljert programvarearkitektur før arbeidet satte i gang. Dette kunne gjort arbeidet med prototypen mer effektivt, og gitt oss mulighet til å gå mer i dybden på andre områder. Dette ville også gjort programmeringsgruppen bedre skikket til å gi tilbakemelding til forskningsgruppen om hva som burde undersøkes videre.

7.2 Tverrfaglighet i arbeidet

Frode studerer datateknologi, og har derfor hatt hovedansvar for programmeringen. Martin har spesialisert seg innen interaksjonsdesign og brukt sin erfaring fra informatikk-studiet til å utvikle applikasjonens brukergrensesnitt. Vetle har jobbet med å programmere lydbehandlingsrutiner i C, da han fordypet seg i signalbehandling og kommunikasjon. Daniel, som fordypet seg innen akustikk, føler han har fått brukt sin kompetanse ved å kunne besvare spørsmål fra de andre gruppemedlemmene om lyd og akustiske prinsipper. Jahn-Tommy, som studerer medievitenskap ved Dragvoll, var en del av forskningsgruppen. Her arbeidet han med innsamling av ulike typer informasjon som skulle være tilgjengelig via applikasjonens database. Dette er arbeid han har erfaring med fra studiet sitt. Jørgen, som studerer produktutvikling og produksjon, fikk ikke brukt sine studiespesifikke kunnskaper like direkte som de andre på gruppa. Han brukte derimot sine ferdigheter i MATLAB til å bidra til måling og kalibrering sammen med Daniel.

7.3 Individuelle tanker

Vetle føler han har fått utfordret seg på sitt eget fagområde, og har fått motivasjon til å lære mer om anvendt signalbehandling, både på egenhånd og i grupper. Daniel har lært hvor viktig det er med kunnskapen innen blant annet programmering for å faktisk få akustikken og alle beregningene på et digitalt format. Jørgen har utviklet sitt perspektiv på sin egen fagkompetanse ved å se viktigheten av å bruke de ulike kompetansene til å sette sammen et ferdig produkt. Jahn-Tommy har fått større forståelse for hvordan man gjennomfører det praktiske arbeidet rundt programmering av

en applikasjon. Har videre sett at det kan være mange feilkilder og variabler som man må ta hensyn til i gjennomføringen av dette arbeidet. Frode har gjennom arbeidet fått mer erfaring med utvikling av større systemer. Han har fått mer forståelse for hvordan å benytte kunnskap om programvareutvikling til å gjennomføre praktiske utregninger som kan benyttes til mer enn å løse teoretiske oppgaver. Han har fått trening i å kommunisere med ulike hardware-enheter i en telefon, og samkjøring av rutiner skrevet i ulike programmeringspråk.

Kapittel 8

Konklusjon

Resultatet av arbeidet som beskrives i denne rapporten er en prototype av en opplysningsapplikasjon. Gjennom utvikling av prototypen har vi introdusert ideer til hvordan folkeopplysning kan drives på en mer brukertilpasset og interaktiv måte. Applikasjonen slik den er i dag har fremdeles store mangler i gjennomføringen av lydmålinger. Mer presise metoder for utregning av lydtrykk er nødvendig for å kunne gi troverdige resultater. Videre må man foreta en avveining mellom målehypothet og brukervennlighet, da lydprosessering er ressurskrevende og en smarttelefon har begrenset batterikapasitet.

Det er tydelig at det er en omfattende jobb å utvikle en applikasjon som baserer seg på lydmålinger. Selv om prinsippet er gjennomførbart, er det en stor utfordring å oppnå en tilfredsstillende nøyaktighet. På grunn av mange uforutsigbare kilder til uønsket støy, kreves det flere målinger og mer arbeid med kalibrering. For å oppnå en lanserbar applikasjon vil det være nødvendig å kalibrere applikasjonen for et utvalg av kjente telefonmodeller. Dette vil ta tid og kreve ressurser.

Bibliografi

- [1] Aas, S., Tronstad, T.V., *Diffusion-Based Model for Noise-Induced Hearing Loss*, Trondheim: NTNU, 2016
- [2] Apple, *What is Core Audio?*, <https://developer.apple.com/library/content/documentation/MusicAudio/Conceptual/CoreAudioOverview/WhatisCoreAudio/WhatisCoreAudio.html>, hentet 03.05.17
- [3] AudioCheck, *The non-linearities of the Human Ear*, http://www.audiocheck.net/soundtests_nonlinear.php, hentet 30.04.17
- [4] Bernard, P., Brüel & Kjær, *Application notes – L_{eq} , SEL – WHAT? WHY? WHEN?*, Denmark: Nærum Offset
- [5] Castle Group, L_{eq} , <https://www.castlegroup.co.uk/2012/06/30/leq/>, hentet 05.04.17
- [6] Gartner, *Gartner Says Worldwide Sales of Smartphones Grew 7 Percent in the Fourth Quarter of 2016*, <https://www.gartner.com/newsroom/id/3609817>, Egham, UK: 2017, hentet 03.05.17
- [7] hear-it AISBL, *Temporary threshold shift*, <http://www.hear-it.org/temporary-threshold-shift>, hentet 05.04.17
- [8] Hørselshemmedes Landsforbund, *Hvordan fungerer øret?*, <https://www.hlf.no/horsel/hvordan-fungerer-oret/>, hentet 15.03.17
- [9] Mills, J.H., Adkins, W.Y., Gilbert, R.M., *Temporary threshold shifts produced by wideband noise*, South Carolina: Medical University of South Carolina, 1981
- [10] Nasjonalt Folkehelseinstitutt, *Folkehelserapporten 2014 “Helsetilstanden i Norge”*, Oslo: Nasjonalt Folkehelseinstitutt, 2014
- [11] National Institute for Occupational Safety and Health, *Occupational Noise Exposure – Revised Criteria 1998*, Cincinnati, Ohio: NIOSH, 1998
- [12] Norsonic, *Hvorfor kalibrering?*, <http://www.norsonic.com/no/applikasjoner/kalibrering/>, hentet 27.04.17
- [13] Storm-Mathisen, A., *Forbrukere og smarttelefon – nye muligheter og utfordringer, en kunnskapskjennomgang*, Oslo: Forbruksforskningsinstituttet SIFO, 2016
- [14] Toivonen, M., Pääkkönen, R., Savolainen, S., Lehtomäki, K., *Noise Attenuation and Proper Insertion of Earplugs into Ear Canals*, Annals of Occupational Hygiene, 2002
- [15] Wikipedia, *Decibel*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Decibel>, hentet 02.05.17
- [16] Wikipedia, *Interpolation*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Interpolation>, hentet 29.04.17

- [17] Wikipedia, *Kronecker delta*, https://en.wikipedia.org/wiki/Kronecker_delta, hentet 03.05.17
- [18] Wikipedia, *Linear system*, https://en.wikipedia.org/wiki/Linear_system, hentet 03.05.17
- [19] Wikipedia, *Time-invariant system*, https://en.wikipedia.org/wiki/Time-invariant_system, hentet 03.05.17
- [20] World Health Organization, *Hearing loss due to recreational exposure to loud sounds: a review*, Genéve: WHO, 2015

Tillegg A

Konvolusjon implementert i C

```
#include <stdlib.h>

double* conv(double* x, double* h, int N, int M) {
    /**
     * This function allocates memory, so be careful
     * to free() the returned pointer after use.
     */
    double* output = (double*) malloc(N*sizeof(double));

    for (int n = 0; n < N; n++) {
        output[n] = 0;
        for (int m = 0; m < M && m <= n; m++) {
            output[n] += h[m]*x[n-m]
        }
    }

    return output;
}
```

Tillegg B

dB-utregning implementert i C

```
#include <stdlib.h>
#include <math.h>

#define DB_REF 0.00002f /* dB reference value, 20*10^-6 Pascal */

double ir[] = {/* Array of doubles containing the values of the impulse response*/};

size_t ir_length = /* Length of the impulse response array */;

double mic_offset = /* Microphone calibration factor */;

/** 
 * Calculates dB-value of a sound recording using RMS.
 *      x -- Recorded samples
 *      N -- Number of samples in recording
 */
double getdb(double* x, int N) {
    /* Convolve input signal with impulse response */
    double* y = conv(x, ir, N, ir_length);
    double rms = 0;

    /* Discard the first M samples, as they are invalid */
    for (int n = ir_length; n < N; n++) {
        rms += y[n]*y[n];
    }

    rms /= (double) (N - ir_length);
    rms = sqrt(rms);

    free(y);

    /* Convert RMS amplitude to decibel */
    return 20*log10(mic_offset * rms/DB_REF);
}
```