

Mathias Schultz Eeg

Støydose-estimeringer fra musikere som bruker In Ear Monitorer

Resultater fra in situ F-MIRE målinger
på scenen og i øvings situasjoner

Masteroppgave i Musikkteknologi

Veileder: Daniel Buner Formo

Medveileder: Tron Vedul Tronstad

Desember 2022

Mathias Schultz Eeg

Støydose-estimeringer fra musikere som bruker In Ear Monitorer

Resultater fra in situ F-MIRE målinger
på scenen og i øvingssituasjoner

Masteroppgave i Musikkteknologi
Veileder: Daniel Buner Formo
Medveileder: Tron Vedul Tronstad
Desember 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Det humanistiske fakultet
Institutt for musikk



Kunnskap for en bedre verden



Kunnskap for en bedre verden

DEPARTMENT OF MUSIC

MUSIC TECHNOLOGY/ACOUSTICS

**Støydose-estimeringer fra musikere som
bruker In Ear Monitorer:
Resultater fra in situ F-MIRE målinger
på scenen og i øvings situasjoner**

**Real World noise dose estimation of
musicians using In Ear Monitors:
Results from in situ F-MIRE
measurments on stage and in rehearsals**

Mathias Schultz Eeg

Desember, 2022

Sammendrag

Profesjonelle musikere er ofte utsatt for potensielt skadelige lydnivåer. Så mye som 74% av profesjonelle musikere kan ha hørselsskader, som hørselstap, tinnitus, hyperacusis, diplacusis og/eller forvrengning. Bruk av hørselsvern kan være en effektiv metode for å unngå høye lydnivåer. Mange musikere har gått over til å bruke hørselsvernet in ear monitors (IEM). IEMer skal kunne forbedre signal-til-støyforholdet på scenen, noe som gir klarere lytting, men også potensielt lavere lyttenivåer. Hvordan musikere bruker IEMer er lite dokumentert, og det er derfor uvisst om IEMene faktisk beskytter hørselen til musikere. Denne oppgaven har undersøket bruken av IEMer hos profesjonelle rock/pop-musikere, og vil trekke slutninger rundt om IEMer kan være en av årsakene til hørselsskadene forbundet med musikere.

Bruken av IEMene ble undersøkt ved hjelp av F-MIRE (field-micorphone-in-real-ear) målinger på fire forsøkspersoner ved øvinger, preproduksjoner, lydprøver og konserter. De A-vektede ekvivalentnivåene ble sammenlignet med grenseverdiene for støydoser satt av arbeidsmiljøloven, for å undersøke om lydnivåene musikerne ble utsatt for var skadelige. Forsøkspersonene er profesjonelle musikere som har spilt sammen i over 10 år. Etter målingene ble intervjuer utført med hver av de fire forsøkspersonene, for å se om målingene og konklusjonene fra undersøkelsen stemte overens med musikernes egne erfaringer.

Spesialtilpassede formstøpte IEMer av hard akryl, ble laget til hver forsøksperson. IEMene ble utstyrt med innebyggede elektretmikrofoner, slik at lydnivåene i øregangen til musikerne kunne bli målt under ulike spillesituasjoner. Kalibrering og utregning av frekvensrespons til mikrofonene i IEMene ble gjennomført med en øresimulator. De målte ekvivalentnivåene ble konvertert fra lydnivå ved øregangen til et tilsvarende diffust felt utenfor øret, ved hjelp av standarden ISO 11904-1:2002. Ekvivalentnivåene ”diffust felt utenfor øret” ble deretter A-vektet, og sammenlignet mellom forsøkspersoner og spillesituasjoner. Til slutt ble støydosene kalkulert ut i fra de A-vektede ekvivalentnivåene og grenseverdiene satt av arbeidsmiljøloven.

Det ble funnet flere potensielt skadelige støydoser, som var over grenseverdiene definert av arbeidsmiljøloven hos forsøkspersonene A, B og C. Ingen målinger på forsøksperson D var over grenseverdien satt av arbeidsmiljøloven, og dermed sannsynligvis ikke skadelige. Hvorfor forsøksperson D ikke ble utsatt for skadelige lydnivåer mens de andre tre forsøkspersonene ble, er av stor interesse. De ulike ekvivalentnivåene innad i gruppen vitner om at lyttingen fra IEMene til musikerne er hovedkilden til de høye lydnivåene, og at IEMene har mulighet til å både beskytte og skade hørselen til musikere. Dette samsvarer med funn fra tidligere studier (Fenderman and Ricketts 2008; Santucci 2009). Lyttingen er noe musikerne selv styrer, og hvordan musikerne bruker IEMene bestemmer dermed i stor grad om IEMene beskytter eller skader hørselen deres. Hvordan musikerne skrur lydnivået på lyttingen deres er trolig påvirket av vaner, ulike krav til signal-støyforholdet, og bevissthet rundt lydnivåene. En instruering rundt hvordan IEMene burde brukes, i kombinasjon med at musikerne øver på dette, kan gjøre bruken av IEMene tryggere. Teknologi som gir musikerne mulighet til å se hvor høyt de har skrudd lyttingen deres kunne også gjort bruken av IEMer tryggere. Da kunne musikerne satt lyttingen til et trygt nivå på lydprøve, slik at de visste lydnivået ikke kom til å være skadelig på konsert.

Funnene i denne undersøkelsen er lite generaliserbare, på grunn av et lite utvalg. En lignende, større undersøkelse burde gjennomføres, for å kartlegge om musikere utsettes for skadelige støydoser når de bruker IEMer, slik som funnene i denne undersøkelsen kan indikere. Videre undersøkelser innenfor bruken av IEMer blant musikere kan være nyttige, for å få en bedre forståelse av årsakene

til hørselsskadene forbundet med musikere.

Abstract

Professional musicians are often exposed to high sound pressure levels. As much as 74% of professional musicians can have one or more hearing impairments such as hearing loss, tinnitus, hyperacusis, diplacusis or distortion. The use of hearing protection devices (HPD) can be an effective way to diminish high sound pressure levels. Many musicians today use the HPD in-ear-monitors (IEM). IEMs should be able to improve the signal-to-noise ratio on stage, give the musicians a better listening experience on stage, and also potentially limit sound pressure levels. Few public surveys on how musicians use the IEMs exists, and it is therefore unknown if the IEMs actually do protect the musicians from hearing impairments. This thesis investigates the use of IEMs among professional rock/pop-musicians, and will draw conclusions on whether the use of IEMs could be one of the causes to the hearing impairments musicians are prone to develop.

The use of IEMs was investigated using F-MIRE (field-microphone-in-real-ear) measurements on four subjects. The measurements were done in rehearsals, preproductions, soundchecks and concerts. The A-weighted equivalent levels were compared with the limit values for acceptable noise doses, defined by the Norwegian "arbeidsmiljøloven". The subjects are professional musicians, who have played together for over ten years. After the measurements, an interview was conducted with each of the participants, to investigate if the measurements and conclusions from the survey agreed with the musicians' own experiences.

Custom made IEMs of hard acryl were made for each participant. The IEMs were equipped with electret microphones. These microphones were used to measure the sound pressure levels inside the participants ear canals. Calibration and estimation of frequency response for each of the microphones in the IEMs were done with an ear simulator. The measured equivalent levels were converted from sound pressure levels inside the ear canal to corresponding diffuse field measurements outside the ears using the standard ISO 11904-1:2002. The equivalent levels for diffuse field measurements outside the ear were then A-weighted, and compared between subjects.

Many potentially damaging noise doses, which surpassed the limits defined by the Norwegian "arbeidsmiljøloven" were found for participants A, B and C. None of the noise doses measured for participant D surpassed the limit values, and were therefore most likely not damaging. Why participant D was not exposed to damaging noise levels, while the other three participants most likely were, is of great interest. The differences in equivalent levels between the subjects give reason to believe that the measured sound levels are caused by the participants personal listening levels. Each participant controls their own listening levels. Therefore how each of the musicians uses the IEMs, determines if the IEM will protect or potentially damage their hearing. This is consistent with findings from previous studies (Fenderman and Ricketts 2008; Santucci 2009). How the musicians choose their listening level is probably determined by habits, differing needs in terms of signal to noise ratio, and awareness of the sound levels they are exposed to. Instructing the musicians in how to use the IEMs, in combination with continued rehearsals, could reduce sound exposure from IEMs. The rehearsals are important as the musicians require time to change their habits in terms of listening levels. New technology could give the musicians a way to know what sound levels they are exposed to while using the IEMs. This could make the use of IEMs safer, and would give the musicians the opportunity to set the listening levels of the IEMs to a safe level in soundchecks. The musicians would then be able to know that their listening level was safe throughout the following concert.

The results of this thesis are not generalizable, because of a small sample size. A similar survey,

with a larger sample size should be conducted, to survey whether musicians are exposed to harmful noise doses when using IEMs, as the findings of this survey may indicate. Further studies around the musicians' use of IEMs could be useful, if one wishes to get a better understanding of the hearing impairments associated with musicians and possibly prevent further damage to musicians hearing.

Forord

Så lenge jeg kan huske, har jeg vært opptatt av musikk og hørsel. Som musiker har jeg flere ganger opplevd piping i ørene etter å ha spilt konsert, og når jeg i 2020 måtte finne et tema å skrive bacheloroppgave om, var valget enkelt. ”Hvordan man kan være profesjonell musiker i flere år uten å skade hørselen?” lød min ambisiøse problemstilling. Jeg fant egentlig ikke ut av det. Eller, det finnes jo et veldig enkelt svar: ”unngå høye lyder over tid”. Men dette er vanskelig å gjøre når man er musiker. Det var enkelt å finne dokumentasjon på at musikere har hørselsskader, men vanskelig å finne ut hvordan man unngår hørselsskadene. Det tok ikke lang tid før jeg skjønnte at jeg måtte sette meg inn i In Ear Monitorer (IEM), et hørselsvern som jeg, og mange andre musikere bruker. Jeg tror IEMene kan være løsningen på veldig mange av hørselsproblemene forbundet med det å være musiker, men at de dessverre også er skadelige for mange musikere. Dessverre fant jeg lite forskning på IEMene. Dr. Michael Santucci, som også produserer egne IEMer hadde publisert litt forskning rundt dem, og Fenderman og Ricketts hadde også publisert en artikkel hvor de sammenlignet lyttenivåene mellom IEMene og tradisjonelle monitorer. Det var stort sett det. Jeg ble egentlig litt sjokkert, siden IEMene sees på som et *hørselsvern*. Jeg så for meg at siden det var et *verneprodukt*, burde det være en form for regulering rundt dem, og i alle fall noen offentlige undersøkelser om hvor godt produktet beskyttet brukeren. Jeg stoler jo blindt på at redningsvesten holder meg flytende, og at om den ikke gjør det, fanges dette opp, og produktet går av hyllene. Da burde jeg også kunne stole på at et hørselsvern også beskytter hørselen min? Hvordan kan man selge et verneprodukt som det ikke er dokumentert om fungerer? Dessverre er det ikke så enkelt med hørselsvern. Hvordan hørselsvernet brukes er ofte av stor betydning for hvor godt det fungerer. Tetningen mellom øret og hørselsvernet er av stor betydning og kan variere mye mellom hver gang man tar det på.

Siden jeg fant såpass lite dokumentasjon på IEMene, bestemte jeg meg for å gjøre det selv. Jeg begynte med å lese forskningsartikler om estimeringen av dempingen av hørselsvern. Dette var for jeg hadde tatt noen akustikkfag, og mye av innholdet i artikkelene var ganske uklart for meg. Jeg fant ut at jeg måtte skaffe meg en alliert som kunne mye om dette. Etter å ha forhørt meg litt rundt, sa Tron Vedul Tronstad seg villig til å hjelpe meg med oppgaven. Det viste seg at vi måtte lage spesiallagde IEMer for å kunne gjennomføre de målingene vi trengte. For å lage egne spesiallagde propper trengte jeg penger. Arbeidet med å få støtte til undersøkelsen var vanskelig. Dette var midt under korona, og musikkinteresseorganisasjoner hadde annet å tenke på. Til slutt, etter mange telefoner og mailer, fikk jeg napp hos Christine Thomassen og Creo. Pengene var i boks. Deretter kom en ny utfordring. Hvem kan lage disse proppene? Det viste seg at alle de kjente produsentene av IEMer produserte i utlandet. Det var også vanskelig å få kontakt med dem. Til slutt kom jeg over et lite selskap på Jørpeland, som het M-Fidelity. Her møtte jeg den hyggelige Alf J. Middlethon som var veldig interessert i masteroppgaven min. For en hyggelig pris kunne han lage IEMene og utforme dem med mikrofoner og tilhørende spenningsdeler. Etter å ha fått laget den første IEMen begynte arbeidet med å undersøke den. Fungerte alt som det skulle? Hvor mye egenstøy var det i systemet? Hvordan kan jeg gjøre målinger med IEMen mens jeg spiller konsert? Hvordan kan IEMen kalibreres? Hvordan kan jeg konvertere det mikrofonene i IEMen måler til det faktiske lydtrykket i virkeligheten? Det ble gjennomført mange små undersøkelser for å forstå IEMen bedre. Til slutt var vi der at det var mulig å gjøre faktiske målinger.

Jeg håper denne oppgaven kan motivere til videre studier innenfor dette kunnskapsfeltet. Jeg er jo bare én person, og dette er bare en masteroppgave. En større studie på dette feltet kunne gitt verdifull kunnskap, som kunne gjort det enklere å beskytte musikere fra hørselskader. Kanskje

finnes det en fremtid hvor ingen musikere lengre blir skadet av det de elsker – nemlig musikken.

Tusen takk for all hjelp:

Veileder Daniel Buner Formo

Biveileder Tron Vedul Tronstad

Viggo Henriksen

Kristoffer Sjøwall

Christine Thomassen og Creo

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	i
Abstract	ii
Forord	iv
Liste over grafer og bilder	xi
Liste over tabeller	xiv
Oppslagsverk	xv
1 Introduksjon	1
2 Bakgrunn	2
2.1 Hørselen til musikere i Norge	2
2.2 In Ear Monitorer (IEM)	3
2.2.1 Signal til støyforholdet på scenen	3
2.2.2 Stemmer det at IEMene reduserer lydnivået musikerne blir utsatt for? . . .	3
2.3 Struktur og innhold i oppgaven	4
3 Teori	5
3.1 Nyttige akustikkbegreper	5
3.1.1 Pascal og desibel	5
3.1.2 Lydeffekt	5
3.1.3 Fritt felt	6
3.1.4 Diffust felt	6
3.1.5 Fast fourier transform (FFT)	7
3.1.6 Fordeling i 1/3-oktavbånd	9
3.1.7 Rosa støy	9
3.1.8 Frekvensrespons	11

3.1.9	Kalibrering	11
3.1.10	Klipping	12
3.1.11	Ekvivalentnivå	13
3.1.12	Summering av 1/3-oktavbånd til én sum	14
3.1.13	A-vekting	14
3.1.14	Støydose	14
3.1.15	Forskrift om støy på arbeidsplassen - dosekalkulering	14
3.1.16	Konvertering fra øret til diffust felt utenfor øret - ISO 11904-1:2002	16
3.1.17	Histogram	17
3.1.18	Bakgrunnsstøy i systemer	17
3.2	Feltmåling sammenlignet med laboratoriemåling	17
3.3	Systematiske og tilfeldige feil	17
3.4	Kvalitativ metode i form intervju med forsøkspersonene, som supplement til undersøkelsen	18
4	Metode og utstyr	19
4.1	Utforming av IEMs med mikrofoner – hvordan sørger vi for at det mikrofonene måler konverteres til faktisk opplevd lydtrykk?	19
4.1.1	IEM-mikrofonene er koblet til tuber	21
4.1.2	Formen på proppen - avstand mellom høyttalerutgang og mikrofon utgang	21
4.1.3	Volum i øret påvirker også lydnivået som produseres	21
4.1.4	Frekvenskalibrering av innside mikrofoner - øresimulator	23
4.2	Frekvenskalibrering av innside mikrofoner – øresimulator – prosedyre	25
4.2.1	Utstyr	25
4.2.2	Fremgangsmåte øresimulator	25
4.3	Generell informasjon om måleprosedyren gjort i undersøkelsen	27
4.3.1	Begrensede midler	27
4.3.2	Informasjon om forsøkspersoner	27
4.3.3	Informasjon om spillesituasjoner	27
4.3.4	Utstyr – målinger ved ulike spillesituasjoner	28
4.3.5	Måleprosedyre	28
4.4	Analyse av målingene	30
4.4.1	Sortering av målinger	30
4.4.2	Splitting til monofiler - Audacity	30
4.4.3	Klipping av målingene - Logic Pro X	30
4.4.4	Konvertering til 1/3-oktavbånd, frekvenskalibrering, ISO, A-vekting og Ekvivalentnivå - matlab	30

4.4.5	Ekvivalentnivå og dose	30
4.5	Generell kalibrering av IEM	31
4.6	Intervju med forsøkspersonene	32
5	Resultater	33
5.1	Lydnivå på tvers av forsøkspersoner	33
5.2	Lydnivå på tvers av spillesituasjoner	36
5.3	Doseberegning på tvers av forsøkspersoner	38
5.4	Refleksjoner fra forsøkspersonene rundt resultatene	39
5.4.1	Refleksjoner hentet fra intervjuene	39
6	Diskusjon, begrensninger og feilkilder	41
6.1	Diskusjon	41
6.1.1	Hva er hovedkilden til de høye lydnivåene?	41
6.1.2	Hvorfor ble forsøkspersonene A, B og C utsatt for skadelige lydnivåer over tid, mens forsøksperson D ikke ble det?	41
6.1.3	Hvorfor var alle målte ekvivalentnivå høyere på konsert sammenlignet med de andre spillesituasjonene?	42
6.1.4	Hva betyr de store forskjellene i doseverdiene?	42
6.1.5	Fordeler og ulemper med denne typen feltmåling, sammenlignet med lab måling	42
6.1.6	Hva kan gjøres for å senke lydnivåene musikerne blir utsatt for?	43
6.2	Feilkilder	43
6.2.1	Frekvenskalibrering, egenstøy og estimert frekvensrespons til IEM mikrofoner	43
6.2.2	Generell klipping og overraskende klipping i negative utslag	45
6.2.2.1	Undersøkelse av utstyr og rekonstruering av den negative klippingen	45
6.2.2.2	Rekonstruering av klipping	46
6.2.2.3	Følgefeil ved klippingen, og hvorfor det mest sannsynlig kun produserer lavere A-vektet ekvivalentnivåer	46
6.2.2.4	Fjerne de negative utslagene og summere med 3?	47
6.2.2.5	Offset	48
6.2.3	Andre mulige feilkilder	48
6.2.3.1	Feil gaininnstilling	48
6.2.3.2	Ørevoks	49
6.2.3.3	Variierende spenning fra batteri og krets	49
6.2.3.4	Konvertering fra øret, til diffust felt utenfor øret - ISO 11904 . . .	49
6.3	Begrensninger	50
6.3.1	For lite utvalg	50

7 Konklusjon	51
8 Videre arbeid	53
Referanser	54
Appendix	56
A Tabeller	56
A.1 A-vektning – NEK IEC 61672-1:2013	56
A.2 Lydtrykk ved trommehinnen til diffust felt – ISO 11904-1:2002	57
A.3 Alle målinger øvinger	58
A.4 Alle målinger preproduksjoner og lydprøver	59
A.5 Alle målinger konserter	60
B Datablad	61
B.1 Datablad Knowles Electronics ”EK-23028-C36”	61
C Koder	63
C.1 FFT kode	64
C.2 1/3oktavbånd kode	65
C.3 Hovedkode	66
D Resultat fra alle målinger i 1/3-oktavbånd, alle fire forsøkspersoner	77
D.1 Forsøksperson A, alle målinger i 1/3-oktavbånd	77
D.2 Forsøksperson B, alle målinger i 1/3-oktavbånd	78
D.3 Forsøksperson C, alle målinger i 1/3-oktavbånd	79
D.4 Forsøksperson D, alle målinger i 1/3-oktavbånd	81
E Intervju med forsøkspersonene	84
E.1 Intervju fra forsøksperson A	84
E.2 Intervju fra forsøksperson B	84
E.3 Intervju fra forsøksperson C	85
E.4 Intervju fra forsøksperson D	86

Liste over grafer og bilder

3.1	Avstanden fra lydkilden r , kan bestemme hvilket lydfelt vi befinner oss i	6
3.2	WAVfil, i tidsdomenet	7
3.3	WAVfil, i frekvensdomenet, pascal	7
3.4	WAVfil, i frekvensdomenet, dB	8
3.5	WAVfil, i 1/3-oktavbånd, dB	9
3.6	Rosa støy 1/3-oktavbånd, nært hold – rosa støy skal inneholde like mye energi i hver 1/3-oktavbånd, fra Matlab	9
3.7	Rosa støy 1/3-oktavbånd, større grenser i x-akse – rosa støy skal inneholde like mye energi i hver 1/3-oktavbånd, fra Matlab	10
3.8	Rosa støy FFT – intensiteten i spektrumet avtar med 3 desibel per oktav, fra Matlab	10
3.9	Frekvensrespons til EK-23028-C36 i fritt felt	11
3.10	Rentone uten klipping	12
3.11	Rentone 1 kHz, med digital klipping	12
3.12	CFFT av rentone uten klipping	12
3.13	FFT av rentone 1 kHz, med klipping	13
3.14	Eksempel på klipping	13
3.15	Historgram av en lydmåling, konvert til dB	17
4.1	Elektretmikrofon EK-230828-C36, størrelser oppgitt i millimeter	19
4.2	IEM mikrofon og IEM høyttaler ble plassert så langt fra hverandre som mulig . . .	20
4.3	Oppsett for IEM	20
4.4	Frekvensresponser for forskjellige stive tubelengder	21
4.5	Rosa støy avspilt med IEM høyttaler og målt med IEM mikrofon, lukket åpninger	22
4.6	Rosa støy avspilt med IEM høyttaler og målt med IEM mikrofon, åpen	23
4.7	Rosa støy avspilt med IEM høyttaler og målt med IEM mikrofon, i øret	23
4.8	Øresimulatoren består av tre deler, og må settes sammen	25
4.9	Oppsett for øresimulator kalibrering	26
4.10	Øresimulator	26

4.11	Opptaksenheter brukt til målingene	28
4.13	ZOOM H5 festet på forsøkspersoner på scenen, under måling	29
4.14	Generell kalibrering av IEM	31
4.15	9 gjentatte kalibreringer på både H og V øre. Kalibrert ut i fra $K2_V$	32
5.1	Ekvivalentnivå fra øvinger	34
5.2	Ekvivalentnivå fra preproduksjon	34
5.3	Ekvivalentnivå fra konserter (dessverre ingen målinger fra forsøksperson A her)	35
5.4	Ekvivalentnivå fra øvinger, preproduksjoner og konserter, forsøksperson B	36
5.5	Ekvivalentnivå fra øvinger, preproduksjoner og konserter, forsøksperson C	37
5.6	Ekvivalentnivå fra øvinger, preproduksjoner og konserter, forsøksperson D	37
5.7	Dose fra øvinger	38
5.8	Dose fra preproduksjoner	39
5.9	Dose fra konserter	39
6.1	kalibreringsfaktorene K_i , for forsøksperson A og B	43
6.2	kalibreringsfaktorene K_i , for forsøksperson C og D	44
6.3	Oppgitt vs målt frekvensrespons med øresimulator	44
6.4	Oppgitt vs målt frekvensrespons med øresimulator	44
6.5	Rosa støy målt med IEM mikrofon fra frekvensvekting sammenlignet med egenstøy målt med samme IEM mikrofon	45
6.6	Ekvivalentnivå i 1/3oktavgbånd fra konserter, forsøksperson C, med negativ klipping	46
6.7	Ekvivalentnivå i 1/3oktavgbånd fra konserter, forsøksperson D, uten negativ klipping	47
6.8	FFT fra 22.03 konsert, Høyre forsøksperson C vs D, ingen vekting	47
6.9	Histogram av konsert 22.03 høyre, forsøksperson D, naturlig fordeling i histogram	48
6.10	Histogram av konsert 22.03 høyre, forsøksperson C, markant klipping i negative utslag, men fortsatt størst ansamling ved 0	48
6.11	Ekvivalentnivå fra øvinger, preproduksjoner og konserter, forsøksperson D	49
1	Datablad side 1 Knowles Electronics "EK-23028-C36"	61
2	Datablad side 2 Knowles Electronics "EK-23028-C36"	62
3	Alle målinger 1/3 oktavgbånd, forsøksperson A, m/ ISO 11904 og A-vekting	77
4	Alle målinger 1/3 oktavgbånd, forsøksperson A, u/ ISO 11904 og A-vekting	77
5	Alle målinger 1/3 oktavgbånd, forsøksperson B, m/ ISO 11904 og A-vekting	78
6	Alle målinger 1/3 oktavgbånd, forsøksperson B, u/ ISO 11904 og A-vekting	78
7	Alle målinger 1/3 oktavgbånd, øvinger og preproduksjon, forsøksperson C, m/ ISO 11904 og A-vekting	79

8	Alle målinger 1/3 oktavnband, øvinger og preproduksjon, forsøksperson C, u/ ISO 11904 og A-vekting	79
9	Alle målinger 1/3 oktavnband, konserter, forsøksperson C, m/ ISO 11904 og A-vekting	80
10	Alle målinger 1/3 oktavnband, konserter, forsøksperson C, u/ ISO 11904 og A-vekting	80
11	Alle målinger 1/3 oktavnband, øvinger, forsøksperson D, m/ ISO 11904 og A-vekting	81
12	Alle målinger 1/3 oktavnband, øvinger, forsøksperson D, u/ ISO 11904 og A-vekting	81
13	Alle målinger 1/3 oktavnband, preproduksjoner, forsøksperson D, m/ ISO 11904 og A-vekting	82
14	Alle målinger 1/3 oktavnband, preproduksjoner, forsøksperson D, u/ ISO 11904 og A-vekting	82
15	Alle målinger 1/3 oktavnband, konserter, forsøksperson D, m/ ISO 11904 og A-vekting	83
16	Alle målinger 1/3 oktavnband, konserter, forsøksperson D, u/ ISO 11904 og A-vekting	83

Liste over tabeller

3.1	Tabell hentet fra ”Forskrift om støy på arbeidsplassen” (Forskrift om støy på arbeidsplassen 1982)	15
4.1	Utstyrliste for øresimulator kalibreringen (frekvenskalibrering)	25
4.2	Utstyrliste for målinger ved ulike spillesituasjoner	28
1	A-vekting i henhold til NEK IEC 61672-1:2013, The International Electrotechnical Commission 2013	56
2	Konvertering fra lydtrykk ved trommehinnen til diffust felt, (the International Organization for Standardization 2002)	57
3	Alle verdier, øvinger, *negativ klipping	58
4	Alle verdier, preproduksjon og lydprøver, *negativ klipping	59
5	Alle verdier, konserter, *negativ klipping	60

Oppslagsverk

- Signal til støyforhold – Forholdet mellom signalet (som vi ønsker) og støyen (som vi ikke ønsker). Ett godt signal til støyforhold vil inneholde lite støy og et høyt signal. I denne oppgaven er det ønskede signalet lyttingen som musikerne bruker for å høre seg selv og andre musikere på scenen, mens støyen er uønskede lyder som forstyrrer lyttingen, og som gjør at man må skru nivået til lyttingen høyere enn det støyen er.
- Passiv Dempning – dempningen som skapes av at et hørselsvern fysisk begrenser lydtrykk fra å nå trommehinnen. Dette er altså dempningen som vi vanligvis referer til når vi diskuterer hørselsvern.
- In Ear Monitor (IEM) – Hørselsvernet som blir undersøkt i denne oppgaven. IEMen er et hørselsvern som gir brukeren passiv dempning, i tillegg til at den kan spille av lyder, som et headsett. Man kan tenke på IEMen som et headsett/øreplugg med mer dempning. IEMene brukt i denne oppgaven er formstøpte ørepropper laget av hard akryl.
- Gulvmonitor – Dette er høyttalere som plasseres på scenen mot musikerne, slik at de kan høre hva seg selv og de andre musikerne. Det er vanlig at hver musiker har hver sin monitor, siden det ofte varierer hva de forskjellige musikerne trenger å høre, for å prestere godt på konsert.
- Ambians – Omgivelseslyd, ofte uklar og preget av mange lydkilder. Som regel uønsket i spillesituasjoner.
- lydtrykk/lydnivå – Disse to begrepene referer i denne oppgaven til det samme, nemlig hvor høy lyden er.
- PA - Public Announcement. Dette er høyttalerene som brukes til å forsterke lyden på konserter slik at publikum kan høre hva musikerne spiller og synger.
- L_{eq} - Ekvivalentnivå. L_{eq} kan sees på som det gjennomsnittlige lydnivået over en viss tidsperiode.
- $L_{eq,A}$ – Det A-vektede ekvivalentnivået.
- $L_{eq,T}$ – Står også for ekvivalentnivå. "T"en beskriver hvor lang tidsperiode målingen ble gjort over. Som regel oppgis ikke "T"en i denne oppgaven, fordi de forskjellige målingene har forskjellige tidsperioder, og det kunne blitt mer forvirrende enn informativt å legge dem ved. Men det finnes tabeller i appendix A, som viser de forskjellige måleperiodene.
- $L_{Aeq,diffust,i}$ – Det A-vektede ekvivalentnivået konvertert til diffust felt utenfor øret, i 1/3-oktavbånd. Lydmålingene i denne oppgaven er gjort i øregangen til forsøkspersonene. For å kunne kalkulere tilsvarende støydosser trenger vi lydnivåer målt utenfor øret. Derfor konverteres lydnivåene målt i øregangene til et tilsvarende lydtrykk i diffust felt utenfor ørene.
- $L_{Aeq,diffust}$ – Det summerte A-vektede ekvivalentnivået konvertert til diffust felt utenfor øret, én verdi. Dette ekvivalentnivået er summert sammen fra flere 1/3-oktavbånd.
- dB – desibel
- dBA – A-vektet desibel

-
- Lytting – Lydsignalet musikerne bruker til å høre seg selv og andre musikere på scenen. Hver musiker har ofte egne preferanser for lyttingen deres. Lyttingen er som regel en miks som sendes fra miksepulten. Når man bruker IEMer, er det høyttalerene i IEMene som spiller av lyttingen til musikerne.

Kapittel 1

Introduksjon

Flere større undersøkelser i Norge og Sverige de siste årene har vist at rundt 40% av profesjonelle musikere har hørselsskader [(Kähäri et al. 2003 – 41%), (Størmer et al. 2015 – 37, 8%), (Steder and Voie 2021 – 41% og 37%)]. Inkluderer man flere hørselsproblemer (hørselstap, tinnitus, hyperacusis, forvrengning og diplacusis), blir prosentdelen vesentlig høyere. Det er tidligere dokumentert at så mye som 74% av profesjonelle musikere kan ha hørselsproblemer (Kähäri et al. 2003). Musikkvirksomhet innebærer ofte høye lydnivåer over lengre perioder (Kähäri et al. 2003), og dette er en sannsynlig årsak til hørselsproblemene. Tradisjonelle hørselsvern (skumpropper, øreklokker) har blitt foreslått som en åpenbar løsning på de høye lydnivåene, men bruken av slike tradisjonelle hørselsvern har også flere problemer (støy til signalforholdet på scenen, dårligere lytteforhold på scenen som følge av ujevn passiv dempning) forbundet med seg. Hørselsvernet ”In Ear Monitor” (IEM) kan løse flere av disse problemene, og ett større antall musikere har i dag gått over til å bruke IEMer (Santucci 2009). Likevel er bruken og de potensielle fordelene av IEMs lite dokumentert hos musikere, og det er dermed uvisst om IEMer er en effektiv beskytter av hørselen til musikere. Den beste måten å undersøke dette ville vært å måle hvor mye høye lydnivå musikerne blir utsatt for, når de bruker IEMer i ulike spillesituasjoner. Hvis lydnivåene over tid er innenfor grenseverdiene satt av arbeidsmiljøloven, burde IEMen være en god løsning på hørselsproblematikken forbundet med det å være profesjonell musiker. Hvis ikke, burde musikere bli informert om at IEMer ikke gir god beskyttelse av hørselen deres.

Denne masteroppgaven vil undersøke nettopp dette, altså undersøke hvilke lydnivåer profesjonelle musikere blir utsatt for i ulike spillesituasjoner som øvinger, preproduksjoner, lydprøver og konserter. For å utføre slike målinger kreves det at det lages spesialtilpassede formstøpte IEMer til hver forsøksperson, med innebygde mikrofoner, slik at lydnivåene i ørene til forsøkspersonene kan måles, (måleteknikken kalles MIRE – microphone in real ear). Disse målingene i ørene til forsøkspersonene vil deretter bli sammenlignet med grenseverdiene satt av arbeidsmiljøloven, slik at man kan undersøke om de målte lydnivåene kan være skadelig over tid.

Kapittel 2

Bakgrunn

2.1 Hørselen til musikere i Norge

Lydnivåer på rockekonsserter kan variere mellom 100 til 115 dB L_{Aeq} , med registrerte lydnivå opp til 148 dB L_{Cpeak} ved musikeren (Kähäri et al. 2003). Etter forfatterens egne erfaringer som profesjonell musiker (basert på 50+ klubbkonsserter), er det lite eller ingen begrensninger av lydnivåer under klubbkonsserter. Det bør likevel nevnes at flere større klubbscener bruker i dag kalibrerte målemikrofoner for å kartlegge lydnivåer under konsert, men det settes sjeldent grenser til lydnivåene. I helsedirektoratets ”Musikkanlegg og helse – Veileder til arrangører og kommuner” refereres det til retningslinjene i arbeidsmiljøloven [som presenteres i seksjon (3.1.15) (Helsedirektoratet 2022)], men disse blir sjeldent fulgt på klubbkonsserter.

De høye lydnivåene gir grunn til å spørre hvordan det går med hørselen til profesjonelle musikere. I 2015 gjennomførte Størmer et al en studie hvor de kartla hørselen til 117 musikere. 46 av forsøkspersonene var hentet fra Bandorg sitt medlemsregister, mens de resterende 71 var hentet fra artister som spilte på Øyafestivalen i 2011-12. Kontrollgruppen inneholdt 40 studenter fra universitet i Tromsø. Rentone audiometri viste at 37,8% av musikere hadde hørselstap, hvor 36,1% av de mannlige forsøkspersonene, og 50% av de kvinnelige forsøkspersonene hadde hørselstap. Til sammenligning hadde 2,5% av kontrollgruppen hørselstap. 20% av musikerene hadde kronisk tinnitus, mens 0% av kontrollgruppen hadde kronisk tinnitus (Størmer et al. 2015). Forsvarets forskningsinstitutt (FFI), gjennomførte en større kartlegging av arbeidsforholdene til profesjonelle militære og sivile musikkorkestre i Norge. I denne studien rapporterte 41% av musikerne i militærkorpset, og 37% av musikerne i orkestrene problemer med egen hørsel (Steder and Voie 2021). I Sverige fant man lignende resultater i en større undersøkelse i 2003. 41% av 139 rock/jazz-musikere hadde hørselstap. Interessant nok fant man i samme undersøkelsen at hele 74% av rock/jazz musikerne hadde en eller flere former for hørselsskader (hørselstap, tinnitus, hyperacusis – overfølsomhet til lyd, forvrengning, diplacusis - dobbelthøring) (Kähäri et al. 2003). Dette kan indikere at det ikke er nok å kun kartlegge hørselstap og eventuelt tinnitus hos musikere, om man vil se hele bildet. Det er godt mulig vi hadde sett en større prosentdel av musikerne med *hørselsskader* i Størmer et al. undersøkelse i 2015, om dette hadde blitt undersøkt. De 37% med *hørselstap* og 20% med tinnitus er muligens en større gruppe musikere med *hørselsskader* (Santucci 2009).

I studien til Størmer et al, rapporterte kun 47,7% av musikerne at de brukte hørselsvern når de spilte konsserter (Størmer et al. 2015). En forklaring på dette kan være at tradisjonelle hørselsvern (skumpropper, øreklokker, formstøpte propper) begrenser musikerens mulighet til å høre alle detaljer i lydbildet, noe som gjør det vanskeligere å høre sine egne og andres instrumenter. Mange musikere anser dette som kritisk for å kunne fremføre og prestere.

2.2 In Ear Monitorer (IEM)

Dr. Michael Santucci foreslår en løsning til problemene forbundet med tradisjonelle hørselsvern – nemlig In Ear Monitoren (IEM). Sammenlignet med tradisjonelle hørselsvern, kan In Ear Monitoren faktisk gi musikeren bedre lytting på scenen sammenlignet med det å ikke bruke hørselsvern. Grunnen til dette er at når musikere spiller på større scener trenger de en personlig høyttaler, ofte kalt monitor, eller gulvmonitor, som spiller det musikeren trenger å høre for å prestere (egne og andres instrumenter). Disse monitorene konkurrerer med ambiensen (omgivelseslyd, ofte referert til som ”ambians”) som ofte dominerer lydbildet på scenen. Denne ambiensen kan bestå av klang i lokalet, publikumslyder, klang og ekko fra PA (Public Address, lydannelegget som brukes for å forsterke lyden til publikum), de andre instrumentene på scenen og andre musikeres gulvmonitor. Fordi gulvmonitoren konkurrerer med resten av ambiensen på scenen bidrar den ofte til å gjøre lydnivået på scenen høyere. En ”feedbackloop” kan oppstå, hvor eksempelvis vokalistene skrur sin monitor opp, for å høre seg selv bedre. På grunn av høyere lydnivå på scenen skrur gitaristen sin gitarforsterker opp, videre begynner så trommeslageren å spille høyere, for å matche lydnivået på scenen. Lydteknikeren blir så tvunget til å skru PA høyere, siden gitarforsterker og trommer nå konkurrerer med PA. Dette fører igjen til enda høyere lyd på scenen, og potensielt dårligere lytting for vokalistene, enn før hen skrurde monitoren opp. Likevel, er gulvmonitoren nødvendig, da det kan være nærmest umulig for musikere å spille sammen uten en gulvmonitor på større scener (Fenderman and Ricketts 2008, (Santucci 2009).

2.2.1 Signal til støyforholdet på scenen

IEMen består ofte av en formstøpt propp, med en liten høyttaler plassert i proppen. Den passive dempingen IEMen gir, fjerner mye av sceneambiansen, samtidig som høyttaleren i proppen gir samme informasjon som gulvmonitoren ville gitt. Dette gir **et bedre signal til støyforhold på scenen** for musikeren, og i teorien burde musikeren klare å høre det hen trenger, med lavere volum sammenlignet med et scenario hvor musikeren ikke har hørselsvern, og bruker en gulvmonitor. En annen fordel med IEMen er at musikerne kan få sin personlige lytting uten at det går på bekostning av økt ambiens på scenen. Videre betyr dette at musikerne kan skru opp sin egen lytting uten at dette påvirker de andre musikernes lytting. IEMen gjør det også mulig å fjerne en betydelig lydkilde på scenen, nemlig gulvmonitoren, noe som kan redusere det generelle lydnivået på scenen betraktelig (Fenderman and Ricketts 2008) (Santucci 2009).

2.2.2 Stemmer det at IEMene reduserer lydnivået musikerne blir utsatt for?

I 2008 undersøkte Fenderman og Kicketts om det faktisk var slik at musikere ble utsatt for mindre lydnivåer da de brukte IEMs kontra gulvmonitor. De gjennomførte fire forskjellige målinger av forsøks-personene i laboratorie med bla. kunstig scene, publikum og medmusikanter. Undersøkelsen bestod av én måling hvor forsøkspersonen brukte en gulvmonitor og *satte lydnivået ut i fra egen preferanse* og én hvor forsøkspersonen brukte gulvmonitor og *satte lydnivået til det laveste akseptable nivået de klarte å spille med*. Deretter ble de to målingene gjentatt for IEMene. Studien viste at når forsøkspersonen satte lydnivået på IEMs og gulvmonitorer selv, var det neglisjerbar forskjell mellom lydnivået fra de to forskjellige monitorene. Dette var overraskende da IEMs i teorien skal kunne gi et bedre signal-støyforhold (og dermed lavere lydnivåer for musikerne) sammenlignet med gulvmonitorene. Likehetene i resultatene mellom gulvmonitoren og IEMene ligger i at musikerne satte det lydnivået de selv var vant til å spille med. Musikerne satte lydnivået til det de var vant med å spille til. Forskjellen mellom IEM og gulvmonitorene ble tydeligere når forsøkspersonene ble bedt om å skru IEMene og gulvmonitorene ned til det laveste akseptable nivået de klarte å spille med. Her klarte forsøkspersonene å spille med 6 dB lavere med IEMs, kontra gulvmonitorene. Det ble dermed tydelig at IEMs kan beskytte hørselen til musikerne, hvis musikerne blir forklart hvordan de skal bruke IEMs. Men, uten veiledning, beskyttet ikke IEMene musikerne i nevneverdig grad sammenlignet med gulvmonitorene (Fenderman and Ricketts 2008).

2.3 Struktur og innhold i oppgaven

Opgaven er strukturert etter vanlig praksis innefor realfaglige rapporter. Innledning presenterer hva som skal gjøres i undersøkelsen og hvorfor målingene som gjøres i undersøkelsen er av interesse. Bakgrunnskapittelet fremstiller tidligere relevant forskning og setter undersøkelsen i perspektiv. Den henviser til motivasjonen bak denne undersøkelsen, nemlig hørselsproblemene forbundet med det å være musiker og forklarer hvordan funnene i denne oppgaven kan bidra til å forstå mer om disse hørselsproblemene. Teorikapittelet går gjennom relevant teori for å både gjennomføre og analysere målingene gjort i denne oppgaven. Metodekapittelet viser hvordan IEMene er blitt produsert, og tankene bak produksjonen av dem. Videre blir det lagt vekt på hvordan man konverterer det IEMene måler, om til det faktiske lydtrykket man er ute etter. Deretter blir den generelle metoden for målingene gjort i undersøkelsen presentert. Hvordan målingene analyseres blir også presentert, og til slutt nevnes det hvordan den generelle kalibreringen av IEMene er gjort og hvordan intervjuet med forsøkspersonene er gjennomført. Resultatene fra målingene gjort på alle fire forsøkspersonene i ulike spillesituasjoner blir presentert i resultatkapittelet. Her vises også den kalkulerte dosverdien til hver forsøksperson, sammenlignet med grenseverdiene satt av arbeidsmiljøloven. Til slutt presenteres intervjuene gjort med forsøkspersonene. Et diskusjonskapittel, som diskuterer resultatene fra målingene, og intervjuene gjort med forsøkspersonene kommer etter resultatkapittelet. Her diskuteres også potensielle feilkilder som kan påvirke resultatene, og begrensninger med undersøkelsen. F-MIRE (field-microphone-in-real-ear) målinger er vanskelige å utføre, og det er ofte mange feilkilder involvert med slike målinger. Etter diskusjonen kommer det et konklusjonskapittel som gjenforteller de viktigste resultatene og betydningen av dem. Til slutt foreslås det hva som burde komme videre, for å skape enda større forståelse innenfor dette kunnskapsfeltet. Dette presenteres i kapittelet ”videre arbeid”.

Kapittel 3

Teori

3.1 Nyttige akustikkbegreper

3.1.1 Pascal og desibel

Pascal er enheten for lydtrykk og tilsvarer newton per kvadratmeter ($\frac{N}{m^2}$). Desibel er en logaritmisk enhet, og lydtrykknivået i desibel L_p kan kalkuleres fra pascal p , og referansetrykket p_0 :

$$L_p = 20 \log_{10} \left[\frac{p^2}{p_0} \right] \quad (3.1)$$

L_p brukes ofte fremfor pascal, blant annet fordi målinger av svakere lydtrykk i pascal gir verdier mellom 0 og 1. Derfor brukes desibel som en midling, for å gjøre verdiene enklere å håndtere. Dette illustreres blant annet i grafene (3.3) og (3.4).

3.1.2 Lydeffekt

En god analogi til lydeffekt, er effekten W av en varmeovn. Her kan temperaturen ovnen gir sammenlignes med lydtrykket en høytaller ville gitt. For å varme opp et større rom, trenger man en ovn med større effekt. Effekten sier ikke noe om hvor varmt det er i rommet, kun hvor mye energi ovnen potensielt kan produsere. På samme måte trenger man en høytaler med høy lydeffekt for å spille høyt i et stort rom, og ”dekke” hele rommet. Lydeffekten forteller ikke hvor høy lyd det er i rommet, men hvor mye energi høytaleren potensielt kan produsere.

Forholdet mellom lydeffektnivå L_w og lydtrykknivå L_p i fritt felt kan beskrives med følgende ligning:

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left[\frac{Q}{4\pi r^2} \right] \quad (3.2)$$

Her er Q direktivitetsfaktoren, hvor $Q = 1$ betyr en sfærisk kilde som produserer lyd i alle retninger, $Q = 2$ betyr en hemisfærisk kilde. Avstanden fra kilden skrives som r .

Lydeffektnivå L_w i et rom med reflekterende vegger kan skrives som (Rossing et al. 2001):

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left[\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right] \quad (3.3)$$

Her introduseres den totale absorpsjonen, som skrives som A . Den totale absorpsjonen kalkuleres ut i fra arealet av veggene i rommet, og hvor absorberende disse veggene er:

$$A = \bar{a} \times A_{\text{real}} \quad (3.4)$$

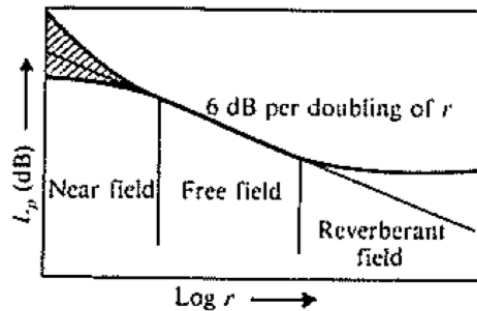
Her er \bar{a} den gjennomsnittlige absorpsjonskoeffisienten for veggene i rommet (Rossing et al. 2001).

3.1.3 Fritt felt

Ett fritt felt er et lyd miljø hvor lydtrykket er proporsjonalt til $1/r^2$, hvor r er avstanden fra kilden (Rossing et al. 2001). Det perfekte eksempelet på et slik miljø ville vært et stort område uten tvingende rammer, altså ingen flater hvor lyden kan reflekteres fra. Slike miljø er vanskelig å skape. Derfor bruker man ofte et ekkofritt kammer i stedet, som inneholder nok porøse dempematerialer til at man i praksis anser rommet som refleksjonsløst.

3.1.4 Diffust felt

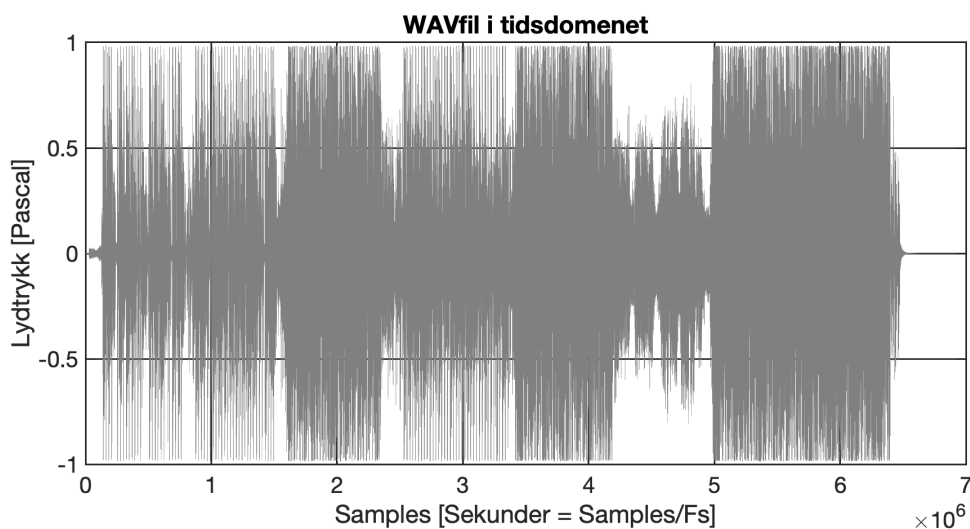
I et diffust felt er lydtrykket L_p stabilt, fordi romklngen dominerer lyd miljøet. Innenfor det diffuse feltet er det altså slik at selv om man flytter seg fra lyd kilden, vil ikke lyd nivået endre seg. Det direkte lydtrykket er altså lavere enn klngen i rommet. Diffust felt står til kontrast med fritt felt, som er dominert av det direkte lydtrykket. Et diffust felt kan skapes i et stort klangrom. I klangrommet får man et diffust felt i det området som har stor nok avstand fra lyd kilden r og veggene/gulv/taket, til at romklngen dominerer lyd miljøet, slik at lydtrykket er likt for alle avstander r (innenfor det diffuse feltet). Forholdet mellom avstanden fra kilden r , fritt og diffust felt og lydtrykket L_p forklares av graf (3.1), hentet fra (Rossing et al. 2001):



Graf 3.1. Avstanden fra lyd kilden r , kan bestemme hvilket lydfelt vi befinner oss i

3.1.5 Fast fourier transform (FFT)

Et opptak gjort med en mikrofon gjennom et lydkort, resulterer i et signal i tidsdomenet, ofte i form av en WAVfil. WAVfilen inneholder en liste med tall, kalt samples, hvor hver verdi representerer en amplitudeverdi mellom 0 og 1. Denne listen med tall representerer lydbølgen mikrofonen tok opp. Wavfilen kan presenteres på følgende måte, hvor x-aksen er amplitudeverdier, og y-aksen er tiden, se graf (3.2):

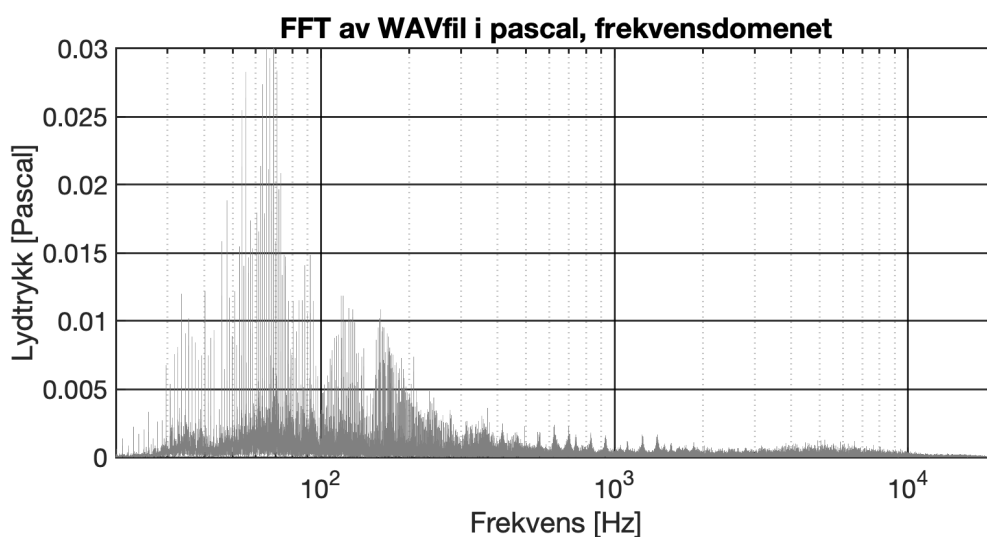


Graf 3.2. WAVfil, i tidsdomenet

Source: Matlab

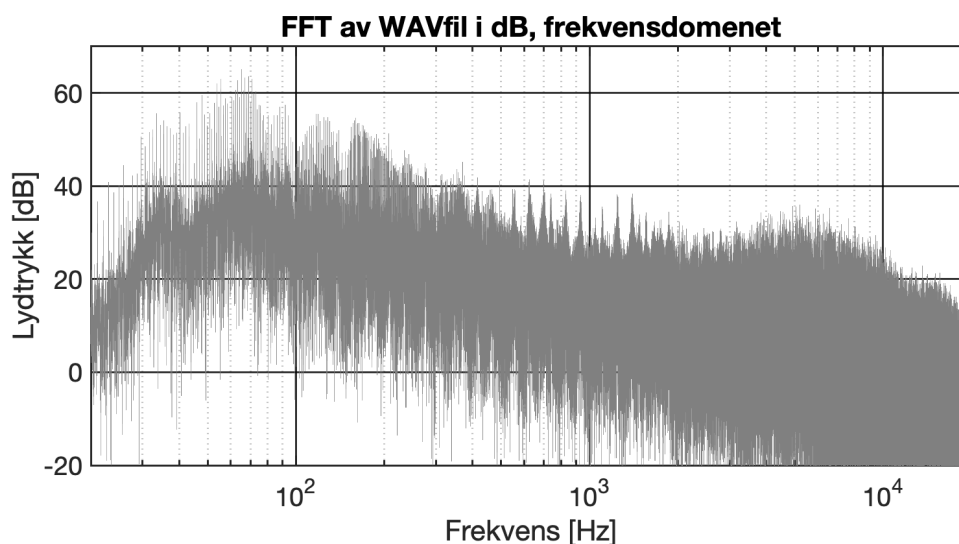
Ved en samplerate på 44100 Hz, vil 44100 samples representere ett sekund av filen. Filen i graf (3.2) er 6616121 samples lang, noe som tilsvarer $6616121/44100 = 150$ sekunder.

Siden mennesker hører tonehøyder som en funksjon av frekvens, og ikke som en funksjon av tid, er frekvensdomenet ofte nyttig for å analysere et lydsignal (Boulanger 2000). Det samme signalet som vist i graf (3.2), konvertert til frekvensdomenet vises i graf (3.3) og (3.4). Som nevnt i seksjon (3.1.1) er desibelverdier ofte lettere å håndtere enn pascalverdier:



Graf 3.3. WAVfil, i frekvensdomenet, pascal

Source: Matlab



Graf 3.4. WAVfil, i frekvensdomenet, dB

Source: Matlab

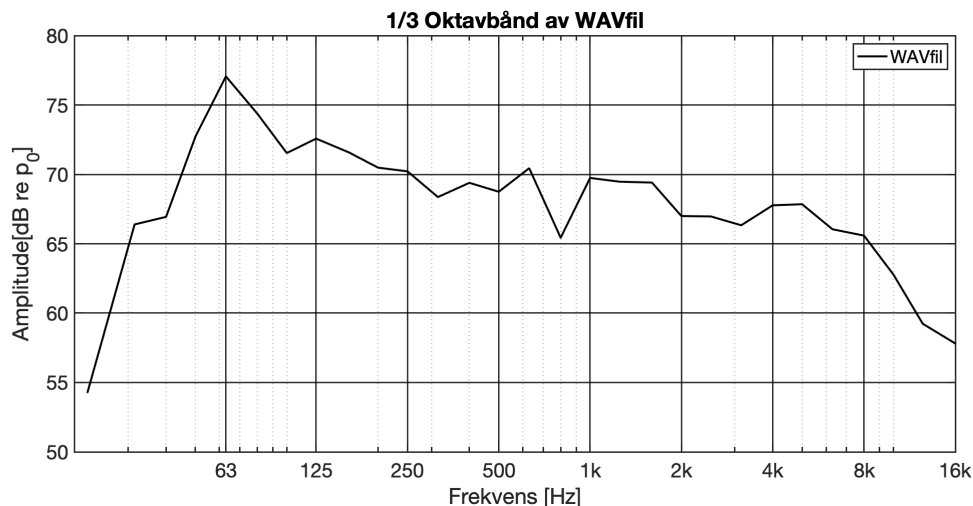
En "discrete fourier transform" (DFT) konverterer signalet fra tidsdomenet til frekvensdomenet. Dette gjøres ved at signalet dekonstrueres fra tidsdomenet til en sum av sinus og cosinus bølger. Disse settes så i stigende rekkefølge, slik at man kan se fordelingen av energi blant de forskjellige harmoniske bølgene (Boulanger 2000). En tradisjonell DFT kan være tidkrevende. En fast fourier transform (FFT) algoritme kan brukes for å kjappere regne ut en DFT av et signal. I matlab kan funksjonen $fft()$ brukes for å regne ut en "discrete fourier transform" av signalet ved å bruke en "fast fourier transform" algoritme (Matlab 2022b). Utregningen kan foregå slik: $X_{frek} = fft(x_{tid})$. Her er x_{tid} signalet i tidsdomenet, og X_{frek} signalet i frekvensdomenet. I denne undersøkelsen blir funksjonen $fft()$ i matlab brukt for å regne ut DTFen av ulike signal, og grafene (3.3) og (3.4), er eksempelvis et resultat av denne funksjonen.

"Zero padding" brukes for å gjøre FFT kalkuleringen mer tidseffektiv, som anbefalt av matlab (Matlab 2022a). Kode for fast fourier transformen brukt til å konvertere signalet vist i graf (3.3) og (3.4) kan slås opp i appendix (C.1).

3.1.6 Fordeling i 1/3-oktavbånd

Ved å summere amplituden fra FFTen innenfor hvert gitte 1/3-oktavbånd, og deretter konvertere dette til dB, kan WAVfilen analyseres i 1/3-oktavbånd. Denne prosedyren gjøres i koden i appendix ved (C.2):

Koden i appendix ved (C.2) har produsert graf (3.5):

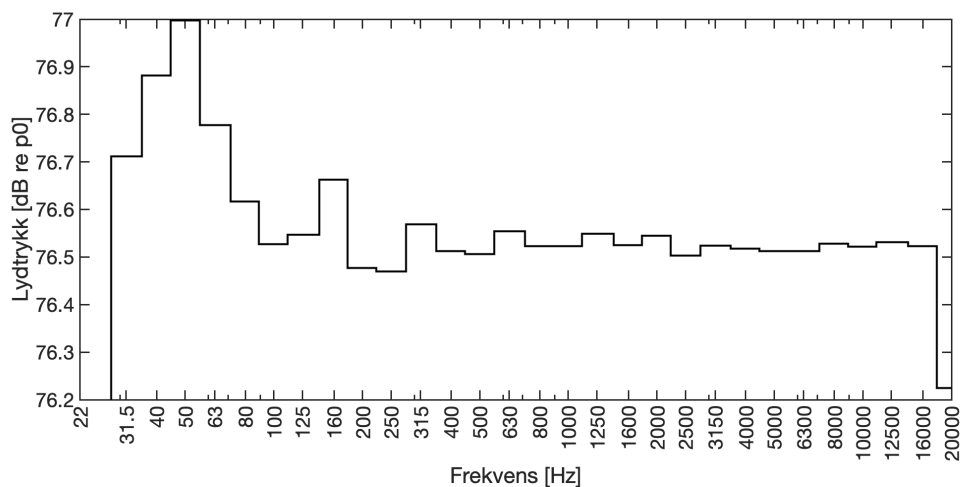


Graf 3.5. WAVfil, i 1/3-oktavbånd, dB

Source: Matlab

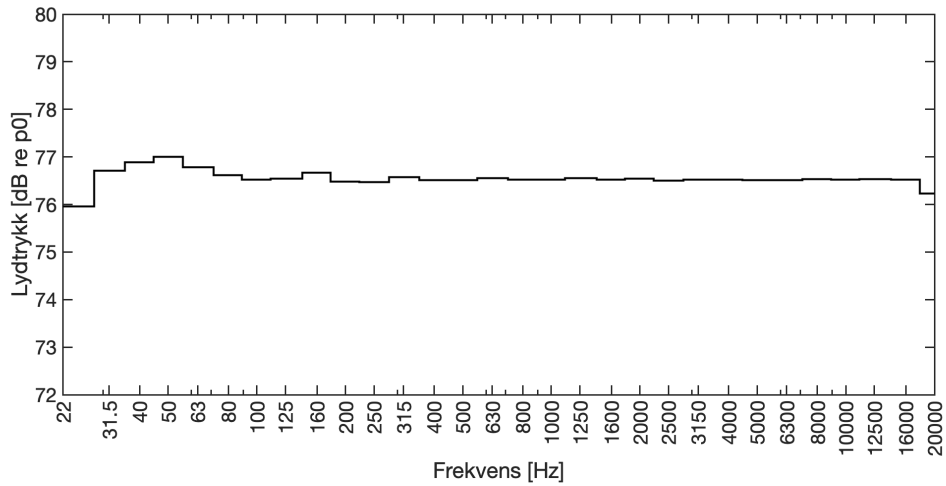
3.1.7 Rosa støy

Rosa støy er et støysignal hvor intensiteten i spektrumet avtar med 3 desibel per oktav, se graf (3.8). Videre inneholder rosa støy like mye energi i hvert oktavbånd eller 1/3-oktavbånd. Analysert i 1/3-oktavbånd gir rosa støy altså ett helt flatt spektrum, som vist i graf (3.7). Dette er spesielt nyttig når man eksempelvis skal analysere frekvensresponsen til en mikrofon. Siden spektrumet er flatt trenger man ikke å gjøre noen ekstra kalkuleringer, og frekvensresponsen vil være lik utgangssignalet fra mikrofonen.

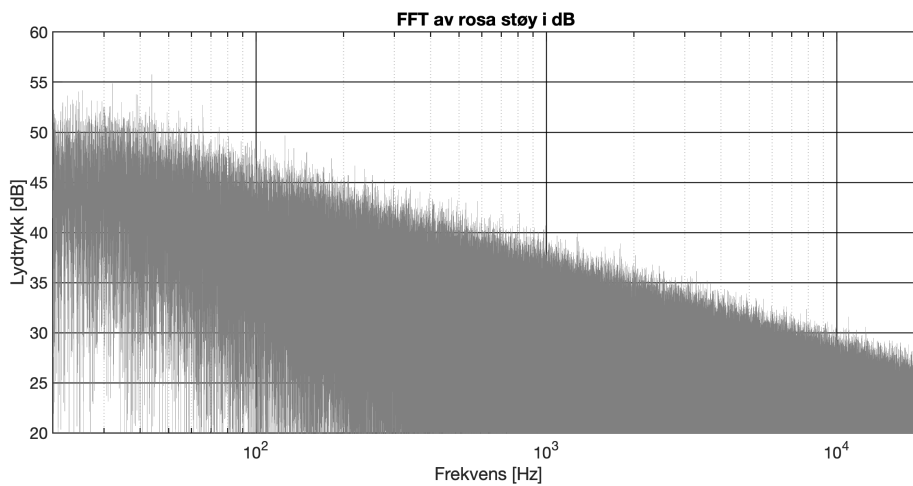


Graf 3.6. Rosa støy 1/3-oktavbånd, nært hold – rosa støy skal inneholde like mye energi i hver 1/3-oktavbånd, fra Matlab

Her ser vi det er noen variasjoner i den rosa støy brukt i graf (3.6). Når vi øker grensene i x-aksen blir det tydeligere at den rosa støyen er relativt jevn over hele frekvensspekteret, se graf (3.7):



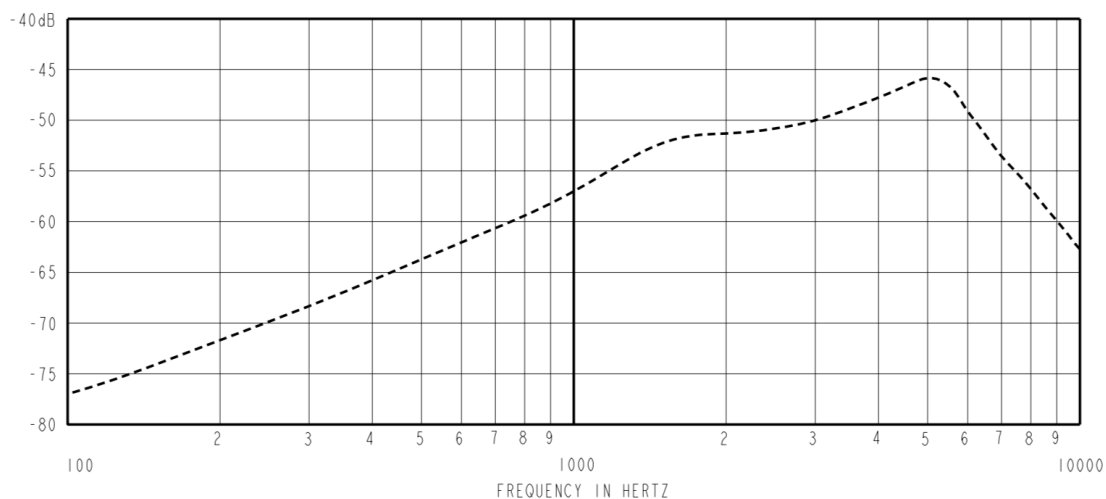
Graf 3.7. Rosa støy 1/3-oktavbånd, større grenser i x-akse – rosa støy skal inneholde like mye energi i hver 1/3-oktavbånd, fra Matlab



Graf 3.8. Rosa støy FFT – intensiteten i spektrumet avtar med 3 desibel per oktav, fra Matlab

3.1.8 Frekvensrespons

Innenfor signalbehandling er frekvensresponsen til et system den kvantitative målingen av amplituden og fasen til utgangssignalet, som en funksjon av inngangsfrekvensen (Smith 1997). Systemet av interesse i denne masteren er mikrofonene brukt i IEMene, som måler lydnivået i øret på forsøkspersonene. Ideelt sett skulle en målemikrofon alltid gi en helt flat frekvensrespons, men dette er ikke tilfellet. På grunn av dette må man kalibrere utgangssignalet (målingen gjort med mikrofonen), slik at signalet stemmer så godt som mulig med virkeligheten. Frekvensresponsen til mikrofonene brukt i denne masteren (EK-23028-C36), i fritt felt, vises i graf (3.9):



Graf 3.9. Frekvensrespons til EK-23028-C36 i fritt felt

3.1.9 Kalibrering

Kalibrering gjøres for å determinere det faktiske lydtrykket målt med en mikrofon. Uten kalibrering er det umulig å determinere det faktiske lydtrykket målt, da mikrofonen kun registrerer en verdi mellom 0 og 1. Denne verdien vet vi korresponderer til et lydtrykk i pascal, men vi vet ikke hva som er forholdet mellom det registrerte lydtrykket (verdien mellom 0 og 1), og det faktiske lydtrykket. For å finne dette forholdet gjennomføres en kalibrering. Mikrofonen plasseres i en kalibrator som alltid spiller av det samme lydtrykket. Dette lydtrykket kan eksempelvis være 94 dB \approx 1 pascal. En måling med mikrofonen x_{cal} gjennomføres. Deretter kalkuleres forholdet A mellom målingen fra mikrofonen:

$$A = \frac{x(t)}{p(t)} \quad (3.5)$$

Vi vet at $p_{cal} \approx 1$ pascal, og kan finne A ved å kalkulere RMS (Root Mean Square) verdien av $x(t)$:

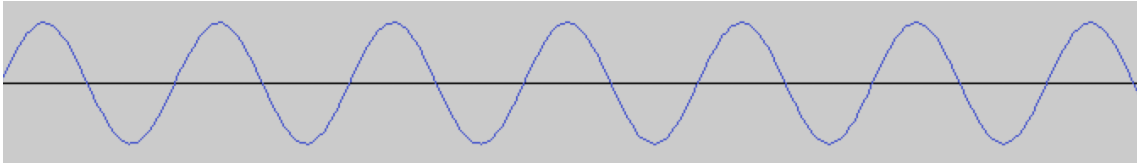
$$A = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}}{1} \quad (3.6)$$

Det faktiske lydtrykket $P_{faktisk}(t)$ kan dermed bli kalkulert fra det målte lydtrykket $P_{målt}(t)$ ved:

$$P_{faktisk}(t) = \frac{P_{målt}(t)}{A} \quad (3.7)$$

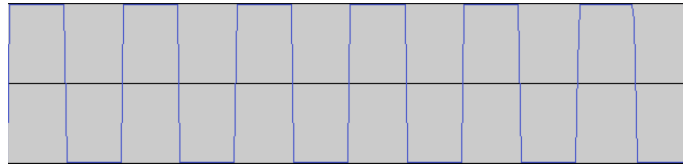
3.1.10 Klipping

En WAVfil lest inn i matlab blir normalisert til verdier mellom -1 og 1. Hvis man øker amplituden av et signal, slik at signalet egentlig skal gå over +1, vil man oppleve digital klipping. En vanlig kilde til digital klipping er når man har satt gaininnstillingen på lydkortet for høyt. Hvis man da måler et signal med mikrofonen som tilsvarer en høyere verdi enn +1 eller lavere verdi enn -1, får man digital klipping. Siden verdien ikke kan representeres med en høyere verdi enn +1 eller -1, vil alle verdiene som egentlig korresponderer til en høyere verdi enn 1, settes som 1. En rentone med og uten digital klipping ved 1 kHz presenteres i tidsdomenet ved grafene (3.10) og (3.11). Tilsvarende blir samme signal presentert i frekvensdomenet i form av en FFT i grafene (3.12) og (3.13). Som vist i graf (3.13) produseres det en god del overtoner når signalet klippes.



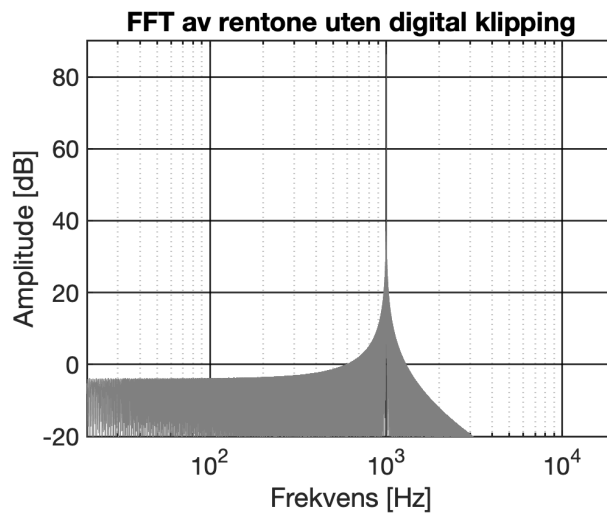
Graf 3.10. Rentone uten klipping

Source: Audacity



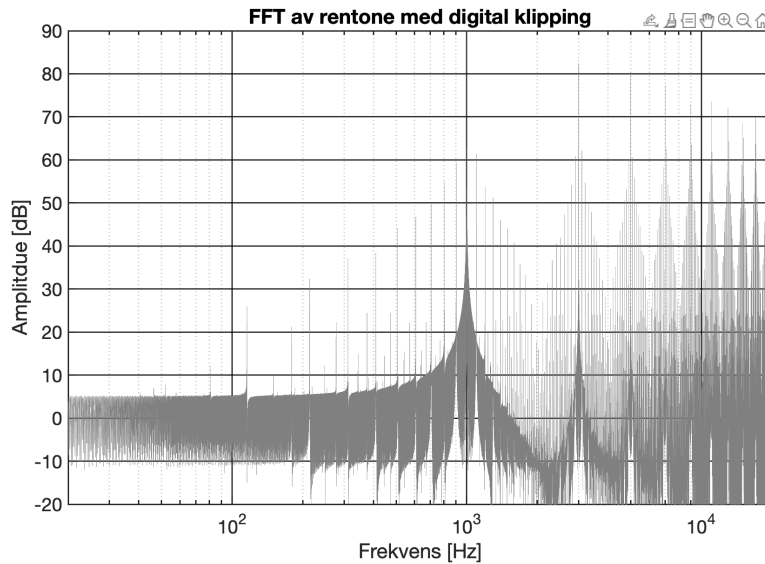
Graf 3.11. Rentone 1 kHz, med digital klipping

Source: Audacity



Graf 3.12. FFT av rentone uten klipping

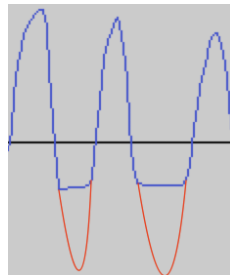
Source: Matlab



Graf 3.13. FFT av rentone 1 kHz, med klipping

Source: Matlab

Når et opptak klipper, forsvinner en del av informasjonen og energien i signalet. Dette er problematisk, da slik klipping gir uønskede overtoner, i tillegg til at det kalkulererte ekvivalentnivået blir lavere enn det var i virkeligheten. I graf (3.14) presenteres et utdrag av en måling som på grunn av klipping har mistet endel av signalet. Den røde linjen er tegnet på grafen for å vise hvor signalet muligvis hadde vært, om signalet ikke hadde klippet:



Graf 3.14. Klipping av en måling hvor den røde streken demonstrerer hvor signalet muligens hadde vært, om signalet ikke hadde klippet

Source: Audacity og egne målinger (utdrag fra måling 22.03 konsert, venstre øre, forsøksperson C)

3.1.11 Ekvivalentnivå

Ekvivalentnivå kan sees på som det gjennomsnittlige lydnivået over tid. Ekvivalentnivået i desibel kan defineres ut i fra følgende ligning:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] \text{ dB re } p_0 \quad (3.8)$$

Hvor $p(t)$ lydtrykket over tid (t) i pascal, T er lengden på målingen i sekunder, og p_0 , referanselydtrykket, 20×10^{-6} pascal. Ekvivalentnivået kan presenteres som en sum for hele målingen, eller i 1/3-oktavbånd.

3.1.12 Summering av 1/3-oktavbånd til én sum

Etter å ha kalkulert ekvivalentnivået til en måling i 1/3-oktavbånd, kan det være nyttig å regne ut en endelig sum for ekvivalentnivået til målingen. Slik blir det enklere å sammenligne ulike målinger. Dette kan gjøres slik, hvor i står for hvert i ende 1/3-oktavbånd, n er antall 1/3-oktavbånd målingen er oppgitt i og $L_{eq,i}$ er lydtrykksnivået i i ende oktavbånd:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{eq,i}}{10}} \right] \text{ dB re } p_0 \quad (3.9)$$

3.1.13 A-vekting

A-vekting brukes for å konvertere frekvensinnholdet i en støymåling om til en måling som bedre stemmer i henhold til menneskers hørsel. En generell støymåling med en mikrofon som har en relativt flat frekvensrespons, stemmer dårlig overens med det et menneske ville hørt, om det hadde hørt det samme som mikrofonen målte. Derfor A-vektes ofte akustiske målinger. A-vekting er kalkulert ut i fra phon-kurven 40 phon som refererer til 40 dB ved 1 kHz. A-vekting vil derfor være mest nøyaktig ved støynivå rundt 40 dB. Likevel brukes vektingen ofte, selv ved høyere nivåer. A-vektingsverdiene defineres i standarden NEK IEC 61672-1:2013 (The International Electrotechnical Commission 2013), og vises i appendix ved tabell 1. A-vekting gjennomføres slik, hvor $L_{Aeq,i}$ er det a-vektede lydnivået ved " i "ende 1/3-oktavbåndet, $L_{eq,i}$ er det " i "ende uvektede 1/3-oktavbåndet, og A_i er A-vektingsverdien for " i "ende 1/3-oktavbånd:

$$L_{Aeq,i} = L_{eq,i} + A_i \text{ dB re } p_0 \quad (3.10)$$

3.1.14 Støydose

En støydose forteller hvor mye støy en person har blitt utsatt for over en gitt tidsperiode. Denne dosen er kalkulert ut i fra ekvivalentnivået (L_{eq}) personen ble utsatt for, tidsperioden (ofte oppgitt i timer T) personen oppholdt seg i støyen, en grenseverdi som oppgir maks ekvivalentnivå over tid ($L_{eq,T}$) som er akseptabelt, og en "endringsrate" (exchange rate). En vanlig endringsrate er 3 dB per halvering av tid, som betyr at for hver 3 dB økning av L_{eq} , halveres tiden personen kan oppholde seg i støyen. Endringsrater på 5 dB brukes også. En støydose over 100% betyr at personen har blitt utsatt for mer støy enn det grenseverdien tillater (Occupational Safety and Health Standards 2001) (Gracey & Associates 2022).

3.1.15 Forskrift om støy på arbeidsplassen - dosekalkulering

I følge Norges lover, "Forskrift om støy på arbeidsplassen" paragraf 4. (Forskrift om støy på arbeidsplassen 1982) skal "Ingen arbeidstaker i normal arbeidssituasjon utsettes for et normert ekvivalentnivå som overstiger høyeste tillatte grenser i følgende tabell:"

"Forskrift om støy på arbeidsplassen" paragraf 4. (Forskrift om støy på arbeidsplassen 1982) er basert på standarden ISO 1990:1990, "Acoustics - Determination of noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment" (the International Organization for Standardization 1990). $L_{ex,A,8t}$, som brukes i tabell 3.1 defineres i punkt 3.6 i ISO 1990:1990, som:

$$L_{ex,A,8t} = L_{Aeq,T_e} + 10 \log_{10}(T_e/T_o), \text{ dB re } p_0 \quad (3.11)$$

Hvor L_{Aeq,T_e} er det A-vektede ekvivalentnivået, T_e er lengden av målingen i sekunder, og T_o er referansetiden, 8 timer. Videre blir $L_{ex,A,8t}$ støygrensen/lydeksponeringsnivået normalisert til en 8 timers arbeidsdag.

Gruppe	Arbeidsforhold	Høyeste tillatte og anbefalte grenser for støybelastning under forskjellige arbeidsforhold
1	Store krav til vedvarende konsentrasjon eller behov for å føre uanstrengt samtale.	Høyeste tillatte grense: $L_{\text{ex,A,8t}} = 55 \text{ dB}$ Anbefalt grense: $L_{\text{ex,A,8t}} = 45 \text{ dB}$
2	Viktig å føre samtaler eller vedvarende store krav til presisjon, hurtighet eller oppmerksomhet.	Høyeste tillatte grense: $L_{\text{ex,A,8t}} = 70 \text{ dB}$ Anbefalt grense: $L_{\text{ex,A,8t}} = 60 \text{ dB}$
3	Støyende maskiner og utstyr under forhold som ikke går inn under gruppe I og II.	Høyeste tillatte grense: $L_{\text{ex,A,8t}} = 85 \text{ dB}$ Anbefalt grense: $L_{\text{ex,A,8t}} = 75 \text{ dB}$

Tabell 3.1. Tabell hentet fra "Forskrift om støy på arbeidsplassen" (Forskrift om støy på arbeidsplassen 1982)

I følge tabell (3.1), gir det mest mening å definere musikkvirksomhet under gruppe 3 "Støyende maskiner og utstyr under forhold som ikke går inn under gruppe I og II", siden viktigheten av å føre samtaler eller vedvarende store krav til presisjon, hurtighet eller oppmerksomhet ikke kan sies å være krav til musikere når de spiller konserter. Dermed blir den høyeste tillatte støygrensen for musikere: $L_{\text{eq,A,8t}} = 85 \text{ dB}$, som altså vil si et A-vektet ekvivalentnivå på 85 dBA, over 8 timer. Man kunne argumentert for å heller gå ut i fra den anbefalte grensen på $L_{\text{eq,A,8t}} = 75 \text{ dB}$. Dette ville gitt enda høyere doseverdier, og høyere "sjokkfaktor". Men ved å gå ut i fra den høyeste tillatte grensen for støy, kan vi med større sikkerhet si nøyaktig hvor mye under eller over den høyeste tillatte grensen forsøkspersonene i denne undersøkelsen var.

Arbeidstilsynet (Arbeidstilsynet 2022), opplyser om at man kan pådra seg hørselskader med verdier også under den gitte dosen på $L_{\text{eq,A,8t}} = 85 \text{ dB}$. Det er også slik at desto mer man overskrider denne dosen, desto høyere risiko vil man ha for å utvikle hørselsskader. Dette kan være greit å ha i mente når man analyserer doseverdiene fra denne undersøkelsen i seksjon (5.3).

Siden vi går ut i fra et L_{eq} på 85 dBA i 8 timer kan vi kalkulere hvor stor dosen i form av kvadrerte pascaltimer (P^2T) man i følge Norges lover kan bli utsatt for. Her vil 100 være maksdosen man kan bli utsatt for. Kalkulering av dose, basert på "Forskrift om støy på arbeidsplassen" paragraf 4 (Forskrift om støy på arbeidsplassen 1982), vises i ligningene (3.12), (3.13), (3.14). (3.15) og (3.16):

Lydtrykksnivået er gitt ved:

$$L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{P^2}{P_0} \right) \quad (3.12)$$

Vi kan dermed finne det kvadrerte trykket P^2 i pascal ved:

$$P^2 = 10^{\left(\frac{L_p}{10}\right)} \times P_0 \quad (3.13)$$

Vi kan videre finne ut hvor mange kvadrerte pascaltimer (P^2T), forskriften godkjenner:

$$P^2T = T \times \left(10^{\left(\frac{L_p}{10}\right)} \times P_0\right) = 8 \times \left(10^{\left(\frac{85}{10}\right)} \times (20 \times 10^{-6})\right) \quad (3.14)$$

Dosen D i prosent kan da kalkuleres, hvor L_{eq} er det målte ekvivalente lydnivået i dBA, og T er måleperioden i timer, og nevneren er grenseverdien for kvadrerte pascaltimer i følge forskriften:

$$D = \frac{T \times [10^{\left(\frac{L_{eq}}{10}\right)} \times (20 \times 10^{-6})]}{8 \times [10^{\left(\frac{85}{10}\right)} \times (20 \times 10^{-6})]} \times 100 \quad (3.15)$$

Simplifisert blir det:

$$D = \frac{T \times 10^{\left(\frac{L_{eq}}{10}\right)}}{8 \times 10^{\left(\frac{85}{10}\right)}} \times 100 \quad (3.16)$$

Ligning (3.16) følger også den anbefalte halveringen av tid ved hver 3 dB økning gitt av arbeidstilsynet (Arbeidstilsynet 2022).

3.1.16 Konvertering fra øret til diffust felt utenfor øret - ISO 11904-1:2002

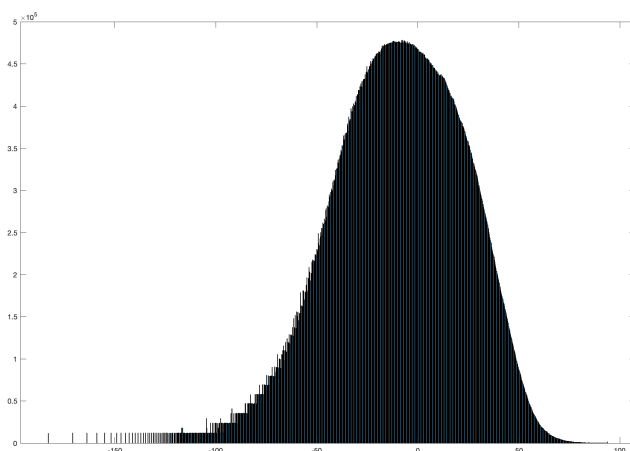
Arbeidsmiljøloven og ISO 1990:1990 [se seksjon (3.1.15)] inneholder ikke grenser for lydtrykk målt i øret, slik som IEMene brukt i denne oppgaven måler. Den oppgir kun grenser for lydtrykk målt i rommet. Derfor må målingene gjort ved øret (mer presist ved trommehinnen) konverteres til tilsvarende lydtrykk målt i rommet, for å kunne sammenlignes. Denne konverteringen beskrives i ISO 11904-1:2002 - "Akustikk Bestemmelse av lydimmisjon fra lydkilder nær øret, Del 1: Teknikk der mikrofonen er plassert i øret (MIRE-teknikk)" the International Organization for Standardization 2002. Standarden oppgir konvertering for fritt felt, og for diffust felt. Diffust felt er blitt valgt, fordi lyd miljøet på scenen er bedre beskrevet som et diffust felt, enn et fritt felt. Scenen inneholder mange forskjellige lydkilder, gitar og bassamper, PA, trommesett, publikum osv, i tillegg til et rom som ofte inneholder mange harde vegger. Det blir derfor mest riktig å karakterisere lyd miljøet på scenen som et diffust felt kontra et fritt felt. Lyd nivået målt fra trommehinnen $L_{p,trommehinne,i}$ kan konverteres til diffust felt $L_{p,diffust,i}$ slik, hvor hvert i ende 1/3-oktavnband kalkuleres slik:

$$L_{p,diffust,i} = L_{p,trommehinne,i} - \Delta L_{df,i} \quad (3.17)$$

Verdiene for $\Delta L_{df,i}$ i 1/3-oktavnband vises i appendix i tabell (2).

3.1.17 Histogram

Et histogram viser hvordan numeriske data fordeler seg (Frøslie 2022). Histogram av en lydmåling vises i graf (3.15):



Graf 3.15. Histogram av en lydmåling, konvert til dB

Source: Matlab

Her er x-aksen de forskjellige tallverdiene lydmålingen inneholder, mens y-aksen viser hvor hyppig de forskjellige verdiene forekommer.

3.1.18 Bakgrunnsstøy i systemer

Alle ekte målinger er påvirket av støy. Som regel er målet å redusere støyen i så stor grad at støyen ikke påvirker målingen i særlig grad.

3.2 Feltmåling sammenlignet med laboratoriemåling

Styrken til laboratoriemålinger er at de ofte kan ha høy indre validitet, altså at man i stor grad kan si at X forårsaker Y . Laboratoriet gir større kontroll til eksperimentator, slik at uønskede usikkerheter kan fjernes. Dette svekker dessverre ofte generaliserbarheten til laboratoriemålingene. Derfor tyr man noen ganger til feltmålinger, som har høy generaliserbarhet, men dessverre ofte mye lavere indre validitet, da det er mye vanskeligere å fjerne uønskede usikkerheter ved målingene (Ringdal 2018).

3.3 Systematiske og tilfeldige feil

Det kan være greit å skille mellom to forskjellige typer feil ved målingene – systematiske og tilfeldige feil.

Systematiske feil forekommer når målinger inneholder en feil som gjør at målingen avviker fra den korrekte verdien med en fast sum i den ene retningen. Et slikt eksempel kan være en feil i koden, som gjør at alle målinger blir kalkulert litt feil, eller en dårlig kalibrering.

Tilfeldige feil forekommer når en målinger avviker med en tilfeldig verdi, fra den korrekte verdien. Eksempler på slike feil kan være støy på målingen eller menneskelig feil.

3.4 Kvalitativ metode i form intervju med forsøkspersonene, som supplement til undersøkelsen

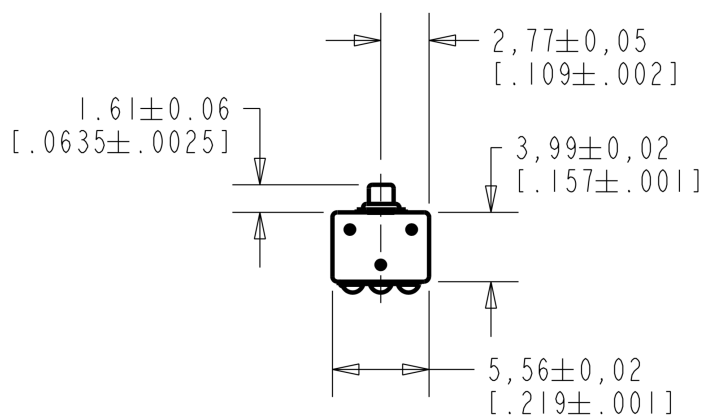
Det ble også gjennomført et intervju og en ”debrief” med hver av forsøkspersonene, som supplement til målingene funnet i denne undersøkelsen. Hensikten med en slik kvalitativ undersøkelse er ofte oppnå dybdekunnskap innenfor ett kunnskapsfelt Grønmo 2022. Dette var også formålet med dette intervjuet. Svarene forsøkspersonene ga kunne enten styrke funnene i denne oppgaven, eller sette spørsmål ved hvor valide de var.

Kapittel 4

Metode og utstyr

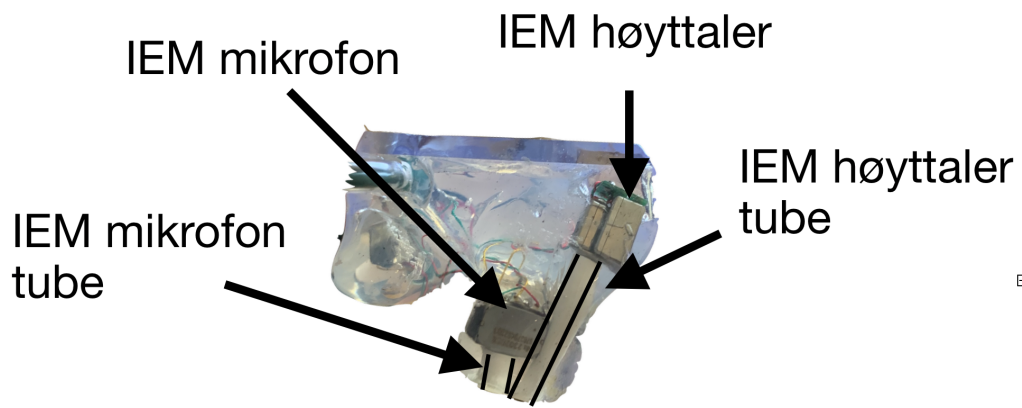
4.1 Utforming av IEMs med mikrofoner – hvordan sørger vi for at det mikrofonene måler konverteres til faktisk opplevd lydtrykk?

Spesiellagede formstøpte IEMs ble laget til hver av forsøkspersonene, for måling av lydnivå i øret. Disse IEMene ble laget av selskapet "M-Fidelity", i samarbeid med Alf J. Middelthon, som var den eneste produsenten av IEMs i Norge. Produktet SA-20 ble brukt som utgangspunkt. IEMene var laget av hard akryl, og ikke myk silikon. Hard akryl gir ofte mindre passiv dempning sammenlignet med propper i myk silikon (Sensaphonics 2022, ACS 2022, 64-Audio 2022 og Ultimate Ears 2022). IEMene "SA-20" hadde allerede eksisterende høyttalerelementer, som ble brukt. I tillegg ble elektretmikrofonene "Knowles EK-230828-C36" valgt, på grunn av deres "ski-slope" frekvensrespons. Se appendix (1) og (2) for oppgitt frekvensrespons i fritt felt. Små mikrofoner med "ski-slope" frekvens var ønskelig, da målinger i øret ofte produserer lave, uønskede frekvenser når forsøkspersonen beveger seg. Størrelsen på elektretmikrofonene vises i graf: (4.2). Mikrofonene og høyttalerene ble plassert så langt fra hverandre i IEMen som mulig, for å unngå "overhøring" mellom mikrofon og høyttaler. Overhøring oppstår når lyden fra høyttaler lekker gjennom proppen til mikrofonen, se graf (4.2). En tube ble plassert på inngangen/utgangen av hver mikrofon og høyttaler, slik at transduserene var koblet til øregangen. Elektretmikrofonene trenger 1.3V for å operere korrekt. Derfor ble en spenningsdeler brukt, se graf (4.3). Spenningsdeleren ble drevet av et AAA batteri.

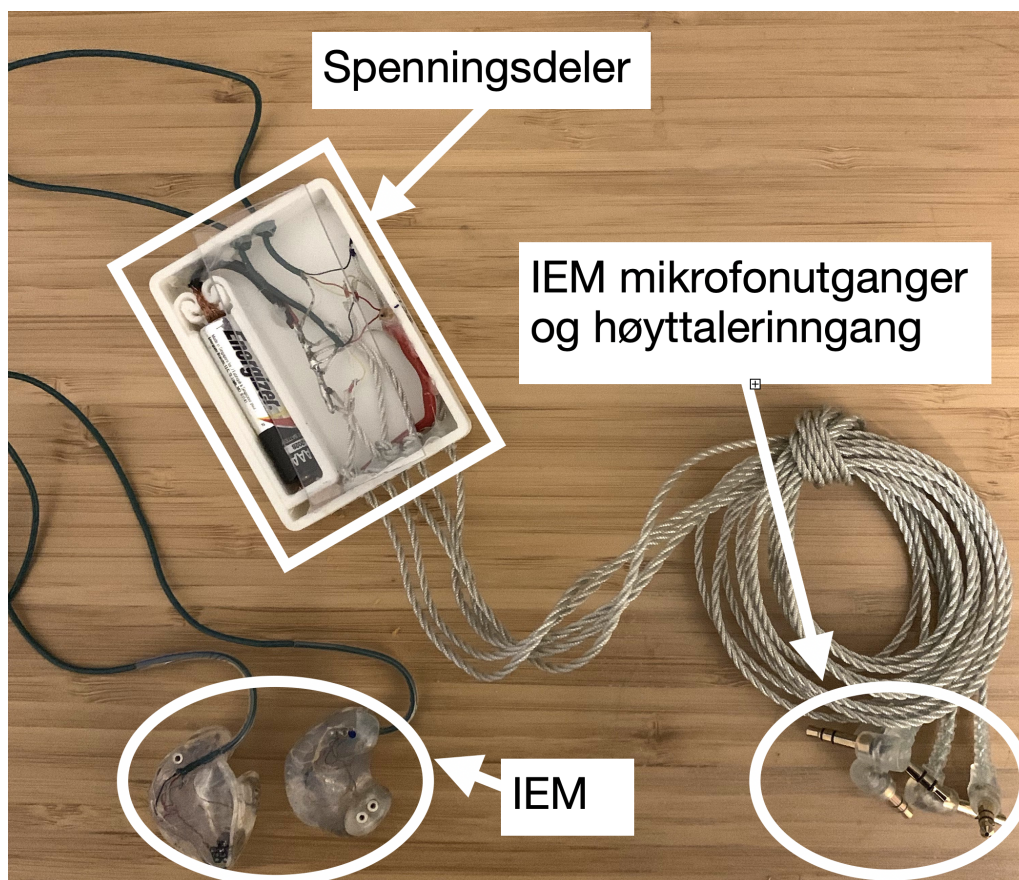


Graf 4.1. Elektretmikrofon EK-230828-C36, størrelser oppgitt i millimeter [tommer]

Source: (Knowles electronics 2006), se appenidx (1) og (2) for hele databladet



Graf 4.2. IEM mikrofon og IEM høyttaler ble plassert så langt fra hverandre som mulig.



Graf 4.3. Oppsett for IEM

4.1.1 IEM-mikrofonene er koblet til tuber

Tubene som IEM-mikrofonene er koblet på, vil påvirke frekvensresponsen av mikrofonene. Man kan derfor ikke gå ut i fra den oppgitte frekvensresponsen til mikrofonene for målingene. Lengden på tubene påvirker dempingen av spesielt høye frekvenser (Brüel and Kjær 2022), se graf (4.4):

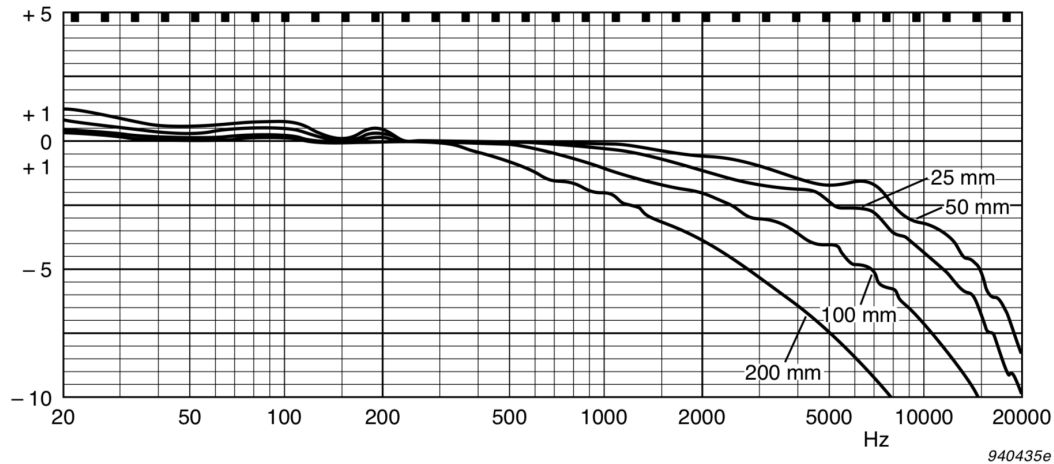


Fig.1 Typical frequency responses for various stiff probe tube lengths

Graf 4.4. Frekvensresponser for forskjellige stive tubelengder

Source: Brüel and Kjær 2022

4.1.2 Formen på proppen - avstand mellom høyttalerutgang og mikrofon utgang

Avstanden mellom høyttalerutgangen og mikrofonutgangen vil også påvirke det målte lydnivået. Desto kortere avstand mellom utgangene, desto mer lyd trenger inn i mikrofonutgangen. Dette er et problem da det påvirker det "reelle lydnivået" trommehinnen opplever.

4.1.3 Volum i øret påvirker også lydnivået som produseres

I flere undersøkelser var det målte lydnivået generelt lavere i det høyre øret, sammenlignet med det venstre hos en av forsøkspersonene. Denne forsøkspersonen hadde gjennomført en operasjon på det høyre øret som gjorde at volumet i høyre øregang var merkbart større enn det venstre. Mest sannsynlig er denne forskjellen i volum grunnen til de forskjellige lydnivåene på ørene. Dette kan litt forenklet forklares ved bruk av ligning (3.3). Hvis vi ser for oss at vi har samme lydeffekt fra begge høyttalerene, og at den gjennomsnittlige absorpsjonskoeffisienten $\bar{\alpha}$ er lik for begge øregangene, og at arealet av veggene i øregangen på det høyre øret er større enn det venstre, vil den totale absorpsjonen være høyere på høyre øre sammenlignet med venstre øre. Vi kan da definere to totale absorpsjoner, A_{venstre} og $A_{\text{høyre}}$. Vi vet at:

$$A_{\text{høyre}} > A_{\text{venstre}} \quad (4.1)$$

Videre kan vi tenke oss at L_w , Q og r vil være like på høyre og venstre side og kan forenkle ligning (3.3):

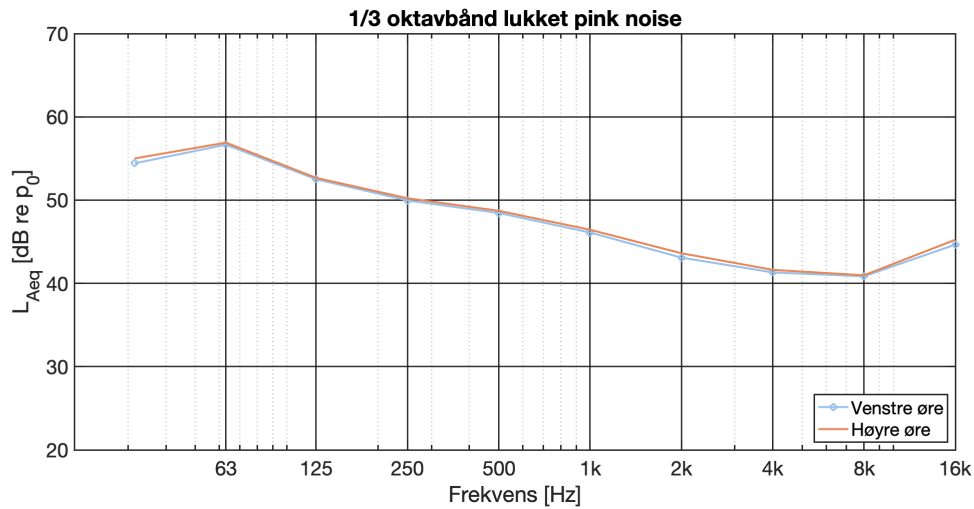
$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left[\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right] \quad (4.2)$$

$$L_p = 10 \log_{10} \left[\frac{4}{A} \right] \quad (4.3)$$

Dermed blir det enkelt å se at siden $A_{\text{høyre}} > A_{\text{venstre}}$, vil lydtrykksnivået i venstre øre være større enn lydtrykksnivået i høyre øre:

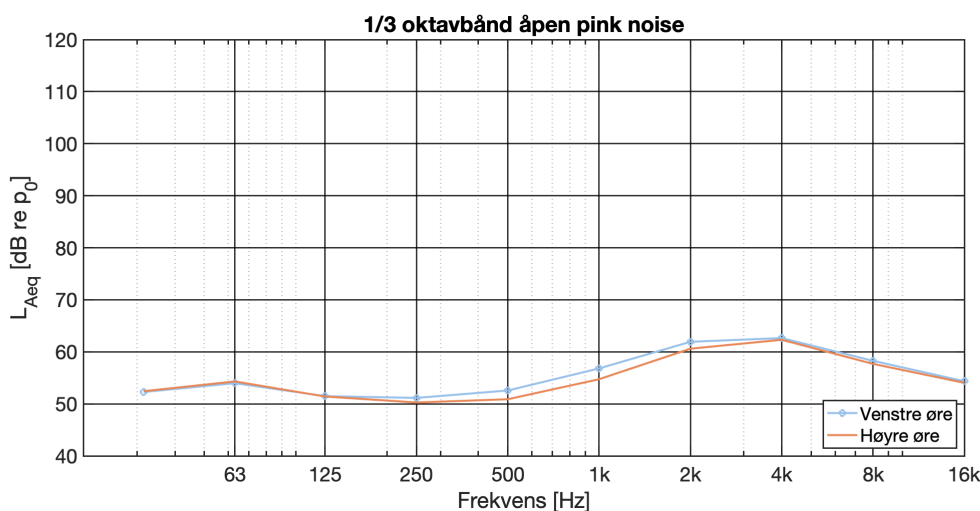
$$L_{p,\text{left}} = 10 \log_{10} \left[\frac{4}{A_{\text{venstre}}} \right] > L_{p,\text{right}} = 10 \log_{10} \left[\frac{4}{A_{\text{høyre}}} \right] \quad (4.4)$$

Dette ser man også når man ser på grafene (4.5), (4.6) og (4.7). Grafene viser tre målinger gjort med mikrofonene i IEMene, hvor høyttaleren i IEMene spiller rosa støy. I (4.5) er begge åpningene (både mikrofon og høyttalerenåpningen) lukket. I (4.6) er begge åpningene åpne. I den siste grafen (4.7), er IEMene plassert i øret på forsøkspersonen. Her er det målte lydtrykket relativt likt mellom høyre og venstre IEM-mikrofon, når IEMene ikke er plassert i øret. Dette gir grunn til å tro at høyttalerene gir omtrent like høy lydeffekt. Forskjellene kommer frem når IEM er plassert i ørene, og volumet i ørene er forskjellig.



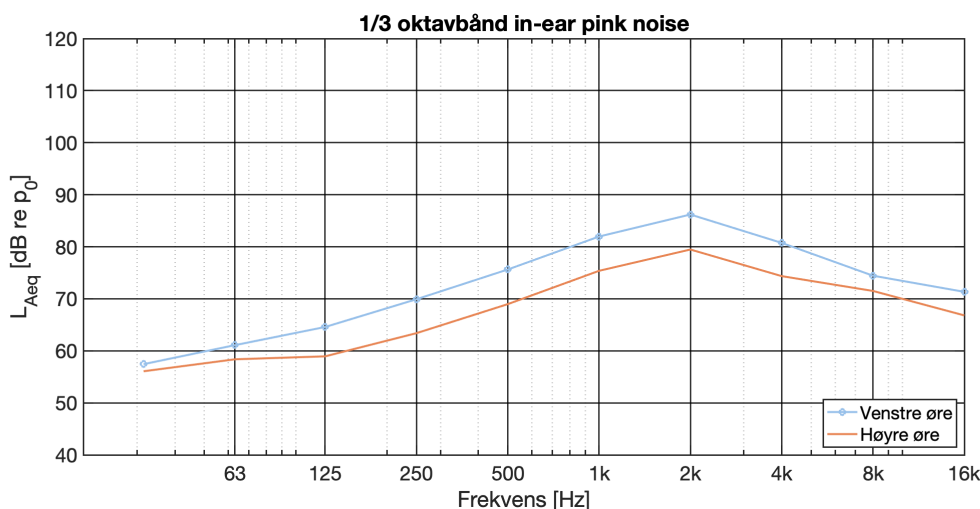
Graf 4.5. Rosa støy avspilt med IEM høyttaler og målt med IEM mikrofon, lukket åpninger

Source: Matlab



Graf 4.6. Rosa støy avspilt med IEM høyttaler og målt med IEM mikrofon, åpen

Source: Matlab



Graf 4.7. Rosa støy avspilt med IEM høyttaler og målt med IEM mikrofon, i øret

Source: Matlab

4.1.4 Frekvenskalibrering av innside mikrofoner - øresimulator

Siden frekvensresponsen til mikrofonene vil bli påvirket av utformingen av proppene og tubene som mikrofonene er koblet opp i, i tillegg til volumet av øret, kan man ikke gå ut i fra at frekvensresponsen til mikrofonene i IEM er slik som produsenten oppgir. Dermed må frekvensresponsen til hver enkelt innsidemikrofon (totalt 8 mikrofoner) måles i en kavitet (helst noe som minner om et øre), fordi hver slange er litt forskjellig, og hver IEM propp er litt forskjellig. Etter å ha funnet den egentlige frekvensresponsen til mikrofonene vil også forskjellige volum i ørene ikke være et problem for målingene. Hvis et øre har et større volum og blir utsatt for samme lydeffekt som et øre med mindre volum, vil det øret med større volum oppleve mindre lydtrykk enn det mindre øret [som forklart i seksjon (4.1.3)]. Denne forskjellen i lydtrykk som mikrofonen måler, vil da også stemme overens med lydtrykket trommehinnen utsettes for, fordi det faktisk produseres et lavere lydtrykk i øret.

Måling av frekvensresponsen til mikrofonene i IEM kan gjøres med en øresimulator. Her brukes

øresimulatoren som fasit, og ved å sammenligne resultatet fra mikrofonen i IEM med en øresimulator, kan frekvensresponsen kalkuleres. En øresimulator er et kunstig øre, med en mikrofon der trommehinnen vanligvis er. Frekvensresponsen til øresimulator mikrofonen skal imitere frekvensresponsen til en menneskelig trommehinne (G.R.A.S 2022). Ved å sammenligne lydtrykkmålingene fra øresimulatoren i 1/3-oktavnband $L_{p,\text{øresim},i}$ med lydtrykkmålingene fra innside mikrofonene i 1/3-oktavnband $L_{p,\text{IEM},i}$, kan man regne ut kalibreringsfaktorer K_i for hvert 1/3-oktavnband. Utregningen av kalibreringsfaktor gjøres slik, for hver i ende 1/3-oktavnband:

$$K_i = L_{p,\text{IEM},i} - L_{p,\text{øresim},i} \quad (4.5)$$

Etter å ha utregnet kalibreringsfaktorer K_i , kan en slags frekvensrespons for IEM mikrofonene kalkuleres:

$$\text{Frekvensrespons}_i = -1 \times K_i \quad (4.6)$$

Siden øresimulatoren skal etterligne en menneskelig trommehinne, og trommehinnen ikke har en helt flat frekvensrespons, vil den kalkulererte frekvensresponsen Frekvensrespons_i vise hvordan IEM mikrofonene skiller seg fra øresimulatoren, og ikke hvordan IEM mikrofonene skiller seg fra en *fasit med helt flat frekvensrespons*. Dermed vil ikke denne kalkulererte frekvensresponsen Frekvensrespons_i være helt sammenlignbar med den oppgitte frekvensresponsen fra Knowles, som er basert på fritt felt, og sammenligningset med mikrofonen og en målemikrofon med helt flat frekvensrespons.

kalibreringsfaktorene K_i brukes til å konvertere målingene gjort med innside mikrofonene på IEM $L_{p,\text{IEM},i}$ til tilsvarende lydtrykk på trommehinnen $L_{p,\text{trommehinne},i}$. På denne måten kan man relatere opptak gjort med IEM mikrofonene i øret med tilsvarende desibelverdier for støyeksonering:

$$L_{p,\text{trommehinne},i} = L_{p,\text{IEM},i} + K_i \quad (4.7)$$

Selv om IEM proppene ikke passer perfekt i øresimulatoren, og dermed ikke får optimal dempning, vil ikke dette påvirke nøyaktigheten av kalibreringen i nevneverdig grad. Mer dempning ville eksempelvis resultert i mindre basslekkasje etc. Grunnen til at optimal dempning ikke er nødvendig, er fordi at uansett om det er mye eller lite lekkasje, vil øresimulatoren og IEM innside mikrofonen bli utsatt for samme lydmateriale. Kalibrerings prosedyren tar kun for seg *forholdet* mellom øresimulerings-opptaket og IEM-mikrofon-opptaket.

4.2 Frekvenskalibrering av innside mikrofoner – øresimulator – prosedyre

Metoden brukt for å finne frekvensresponsen til IEM mikrofonene og kalibreringsfaktorene K_i presenteres i dette delkapittelet.

4.2.1 Utstyr

Utstyr	Merke	Type	Serie nummer
Lydkort	Scarlett	2i2	
Kalibrator	Bruel og Kjaer	4331	2263075
Anthropometric Pinna	G.R.A.S	KB5000	401155
Øre and kinn Simulator	G.R.A.S	43AG	449652
ØreSimulator	G.R.A.S	RA0401	446701
Preamp	Norsonic	336	25591
Macbook Pro 2019	Apple	15 inch 2019	
Lydbehandlings program	Apple	Logic Pro x	Version 10.5.1
Håndholdt opptaker	Roland	Edirol R44	NA.
Håndholdt opptaker	Zoom	H4n Pro	C41058808
4 x Egenbygd IEM	NA	NA	NA

Tabell 4.1. Utstyrsliste for øresimulator kalibreringen (frekvenskalibrering)

4.2.2 Fremgangsmåte øresimulator

Øresimulatoren ble først kalibrert med 4331 kalibratoren (94 dB 1000 Hz rentone), se figur (4.8b). Deretter ble resten av øresimulatoren satt sammen. Øresimulatoren består av tre deler, og er enkel å montere sammen: ”Anthropometric Pinna”, Ear and Cheek Simulator og øresimulator, se Figurene (4.8a) og (4.8b)

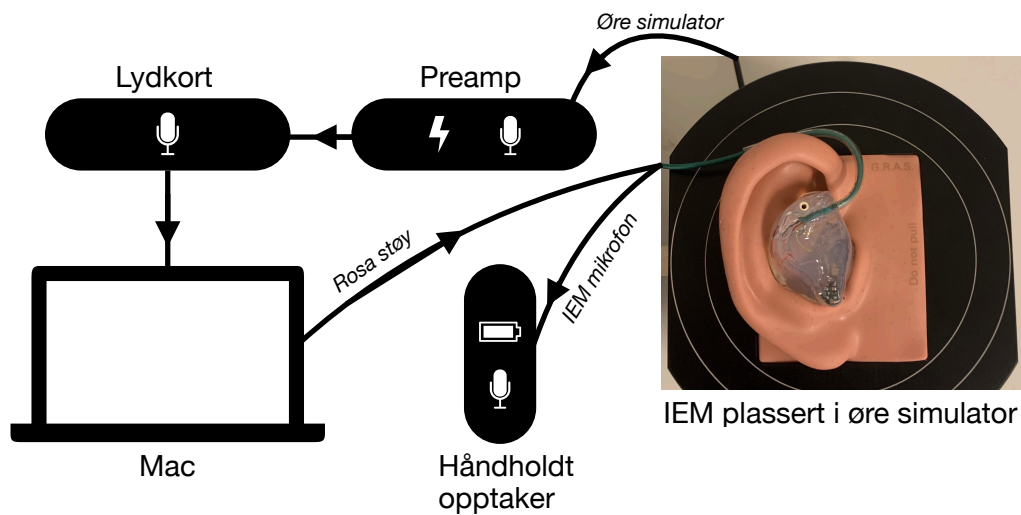


(a) ”Anthropometric pinna” allerede montert på ”øre og kinn-simulator”



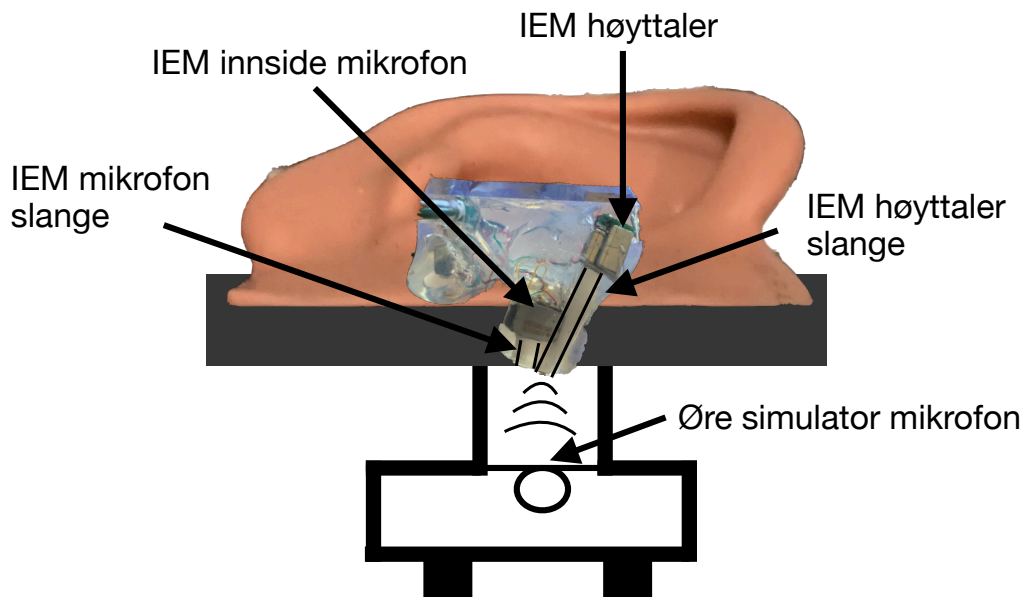
(b) ”øresimulator” del 3

Graf 4.8. Øresimulatoren består av tre deler, og må settes sammen



Graf 4.9. Oppsett for øresimulator-kalibrering

Se figur (4.9) og (4.10) for oppsett. Signalgangen var som følger: (1) Macbooken sendte rosa støy til høyttaleren i IEM. (2) Innside mikrofonen fanger opp lyden og sender dette til håndholdt opptaker. (3) Øresimulator tar opp lyden og sender dette til preamp → lydkort → macbook → lydbehandlingsprogram. Opptaket på IEM og øresimulatoren startes og avsluttes samtidig, slik at begge fanger opp samme lydmateriale.



Graf 4.10. Øresimulator

Kalibreringsfaktorene K_i for de ulike mikrofonene i IEMene, med forskjellige gaininnstillinger ble kalkulert med ligning (4.5). Deretter ble frekvensresponsen til IEM mikrofonene i forhold til øresimulatoren kalkulert med ligning (4.6).

4.3 Generell informasjon om måleprosedyren gjort i undersøkelsen

Det ble gjennomført totalt 222 målinger over 15 dager med fire forsøkspersoner. 42 av disse målingene ble gjort under konsert, 34 på lydprøver, 36 på preproduksjon, 48 på øving og til slutt 62 av målingene var kalibreringer. Av disse målingene var 129 målinger (67 fra ulike spillesituasjoner, og 62 fra kalibreringer) brukbare til analyse. Sorteringen av målingene, og hvorfor flere målinger ble fjernet forklares i seksjon (4.4.1). Målingene ble gjort i tidsrommet 11.03.2022 til 24.03.2022.

4.3.1 Begrensede midler

På grunn av begrensede midler vil undersøkelsen basere seg på flere målinger gjort av kun pop/rock musikere, da det var for kostbart å utvide undersøkelsen til flere forsøkspersoner. Siden IEMene som brukes til å måle lydnivåene er formstøpte, vil hver ekstra forsøksperson øke kostnadene i undersøkelsen. Reiser involvert med målingene på konsertene var også en betydelig kostnad for undersøkelsen. Sjangeren pop/rock ble valgt fordi forfatteren selv spiller i et pop/rock band, og er en av forsøkspersonene i undersøkelsen. Ved å kombinere undersøkelsen med generell musikkvirksomhet ble det kostnadene involvert med målingene redusert.

4.3.2 Informasjon om forsøkspersoner

Forsøkspersonene er menn mellom 24 og 26. Alle fire er profesjonelle musikere som spiller sammen i et band. Musikerne har spilt sammen i over 10 år. Forsøksperson A er hovedvokalist og gitarist, forsøksperson B er hovedgitarist og vokalist, forsøksperson C er bassist og vokalist, og forsøksperson D er trommeslager og vokalist. Musikerne spiller sjangeren pop/rock.

4.3.3 Informasjon om spillesituasjoner

Alle øvinger ble gjort i et rom på ca. 16 kvadratmeter i et øvingslokale i Olyp (Oslo lydproduksjon). Preproduksjon 15.03.2022 ble gjort i et større rom på ca. 25 kvadratmeter, også ved Olyp. Konsertene ble gjennomført på følgende konsertsteder: 16.03.2022, konsert på Salt "Arkistke hovedscenen" i Oslo. 17.03.2022 konsert på Folken hovedscenen i Stavanger. 19.03.2022 konsert på Tapperiet i Trondheim. 22.03.2022 konsert ved kulturhuset "hovedsalen" i Bergen. 24.03.2022 konsert på trykkeriet i Trondheim.

4.3.4 Utstyr – målinger ved ulike spillesituasjoner

Utstyr	Merke	Type	Serie nummer
Lydkort	Scarlett	2i2	NA
Kalibrator	Bruel og Kjaer	4331	2263075
Macbook Pro 2019	Apple	15 inch 2019	C02YQ91LLVCG
Lydbehandlings program	Apple	Logic Pro x	Versjon 10.5.1
Lydbehandlings program	Audacity	Audacity	Versjon 2.3.3
Håndholdt opptaker	Roland	Edirol R44	NA.
Håndholdt opptaker	Zoom	H4n Pro	C41058623
Håndholdt opptaker	Zoom	H4n Pro	C41058808
Håndholdt opptaker	Zoom	H4n Pro	C41058629
Håndholdt opptaker	Zoom	H4n Pro	C41058624
3 x Spenningsdeler holder	3D printet	Spesialtilpasset	NA
6 x Adapter	Kjell og Company	XLR-hann til 6,3 mm-hunn	NA
10 x Adapter	4sound	6,3 mm-hunn til 3,5mm-hun	NA
Teip	Clas Ohlson	Svart gaffateip	NA
4 x belter	NA	NA	NA
4 x Egenbygd IEM	NA	NA	NA

Tabell 4.2. Utstyrliste for målinger ved ulike spillesituasjoner

4.3.5 Måleprosedyre

Edirol R44, og tre Zoom H4 ble brukt som opptaksenheter for målingene. Forsøksperson A, B og C ble målt med ZOOM H4, mens forsøksperson D ble målt med Edirol R44. Edirol R44 ble valgt til forsøksperson D fordi forsøkspersonen spiller trommer og derfor ikke trengte å være like mobil på scenen som forsøkspersonene A, B og C. Zoom H4 hadde ikke 3,5mm hun inngang, slik som IEMene trengte. Derfor ble en XLR-hann til 6,3 mm-hunn adapter og en 6,3 mm-hunn til 3,5mm-hun adapter brukt slik at Zoom H4 kunne få signal fra IEMene. Se graf (4.11b).



(a) Edirol R44 opptaker



(b) Zoom H4 festet på belte, med IEM koblet opp til opptak

Graf 4.11. Opptaksenheter brukt til målingene

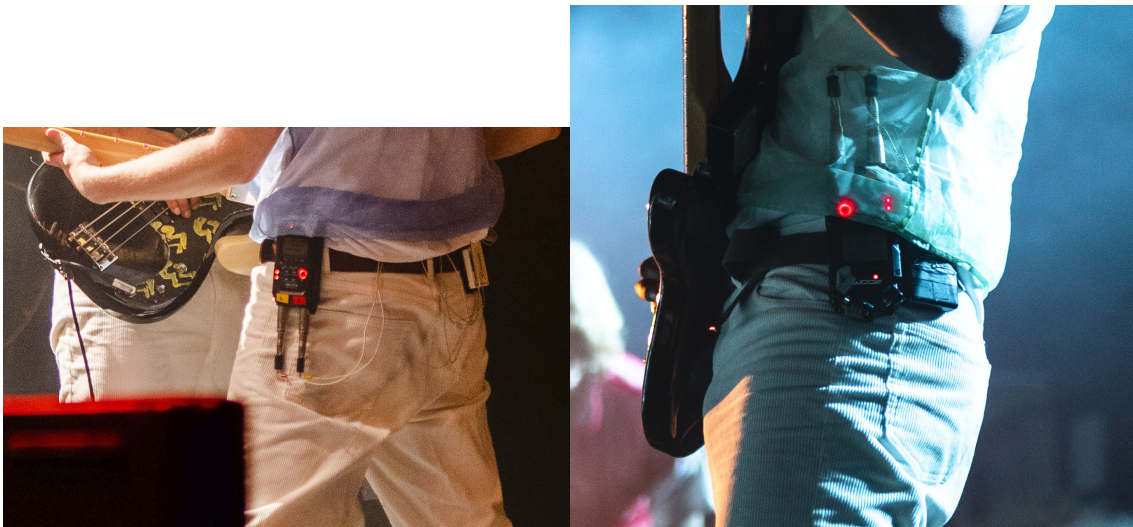
Zoom H4 ble festet til tilhørende belte, se graf (4.12), slik at opptaksenheten satt godt. Forsøkspersonene er i mye bevegelse under konsert, så det var viktig å utforme en sikker festemetode for opptaksenheten. En spesialtilpasset 3Dprintet spenningsholder ble produsert av Kristoffer Sjøwall, slik at spenningsdeleren enkelt kunne tas av og på belte, se graf (4.12).



Graf 4.12. Zoom H4 festet til belte med teip

Gain-innstilling på opptaker ble notert før hver måling. Før de fleste målinger ble det gjennomført en kalibrering med kalibrator 4331, som forklart i seksjon (4.5). Gain-innstilling ble valgt etter beste evne, ut i fra takhøyde i forhold til lydnivå produsert av kalibrering (hvis det er eksempelvis 15 dB med takhøyde på opptaksenhet under kalibreringen på 94 dB, vet man at man kan måle lydnivåer opp til 109 dB uten klipping). Det var dessverre ikke ressurser nok til å undersøke hver måling under konsertperioden. Dette resulterte i klipping på flere opptak. Se seksjon (6.2.2) for mer informasjon.

Formatet 24 bit, 441000Hz, WAV, ble valgt som format til målingene.



(a) Zoom H4 festet på forsøksperson under konsert (b) Zoom H4 festet på forsøksperson under konsert

Graf 4.13. ZOOM H5 festet på forsøkspersoner på scenen, under måling

4.4 Analyse av målingene

4.4.1 Sortering av målinger

Første steg i analysen av målingene, var å sortere alle målinger etter forsøksperson, dato, gain-setting og spillesituasjon. Deretter ble dårlige målinger forkastet. Dette ble gjort ved å laste målingene inn i Logic Pro X, og se over målingene. Kombinasjonen av Adapteren ”XLR-hann til 6,3 mm-hunn” fra Kjell og Company, og ZOOM H4 pro opptakerne var ikke ideell, da adapteren ikke satt ”ordentlig fast”, og lett kunne løsne slik at målingen ikke ble tatt opp. Dessverre måtte flere opptak forkastes på grunn av dette. Forsøksperson A presterte dessverre å knuse sin venstre IEM under konsert, slik at ingen flere målinger kunne bli gjennomført. Dette førte også til at senere kalibrering av venstre IEM med øresimulator [se seksjon (??)] ikke kunne gjennomføres. Dette resulterte i at ingen tidligere målinger på venstre IEM på forsøksperson A kunne brukes. Den høyre høyttaleren til forsøksperson B ble dessverre ødelagt på et punkt i måleperioden, noe som førte til at denne heller ikke kunne bli kalibrert med øresimulator senere i prosessen. Derfor måtte alle høyre målinger på forsøksperson B forkastes. Videre valgte forsøksperson A og B å trekke seg fra prosjektet når målinger av konserter skulle gjennomføres, da de anså det å ha ekstra utstyr på seg under konsert som ødeleggende for deres prestasjon. Dermed ble det gjennomført flest målinger på forsøksperson C og D, og færre på forsøksperson A og B.

4.4.2 Splitting til monofiler - Audacity

Etter at målingene var sortert, ble stereofilene produsert av ZOOM H4 splittet til monofiler med funksjonen ”Split stereo to mono” med lydredigeringsprogrammet Audacity. Stereofilene fra ZOOM H4 bestod av to monofiler, ett for hvert øre.

4.4.3 Klipping av målingene - Logic Pro X

Etter at alle målingene var konvertert til monofiler, ble målingene klippet med Logic Pro X. Fordi flere av målingene ble startet en stund før selve konserten eller øvingen begynte, ble starten av målingene klippet vekk, slik at målingen kun inneholdte perioden konserten eller øvingen ble gjennomført. Det ble også lagt vekt på å klippe vekk når forsøkspersonen satt IEMen i øret, da dette produserer store lydutslag som ikke er ønskelig å ha på selve målingen. I denne delen av prosessen ble også klippingen som oppstår på flere opptak oppdaget, se seksjon (6.2.2).

4.4.4 Konvertering til 1/3-oktavbånd, frekvenskalibrering, ISO, A-vekting og Ekvivalentnivå - matlab

Videre analyse ble gjort i Matlab. Lydfilene ble lastet inn programmet. Deretter ble lydfilene konvertert til frekvensdomenet i henhold til koden i (3.1.5), og deretter konvertert til ekvivalentnivå i 1/3-oktavbånd med koden oppgitt i (3.1.6). kalibreringsfaktorene K_i kalkulert fra øresimulator og IEM [se seksjon (4.2.2)] ble valgt ut i fra gainnivå til den aktuelle målingen, og summert på målingen i ekvivalentnivå i 1/3-oktavbånd med ligning (4.7). Deretter ble A-vekting gjennomført i henhold til ligning (3.10) og tabell (1). Til slutt ble lydnivået konvertert fra lydtrykksnivå ved trommehinnen til diffust felt utenfor øret med ligningen (3.17).

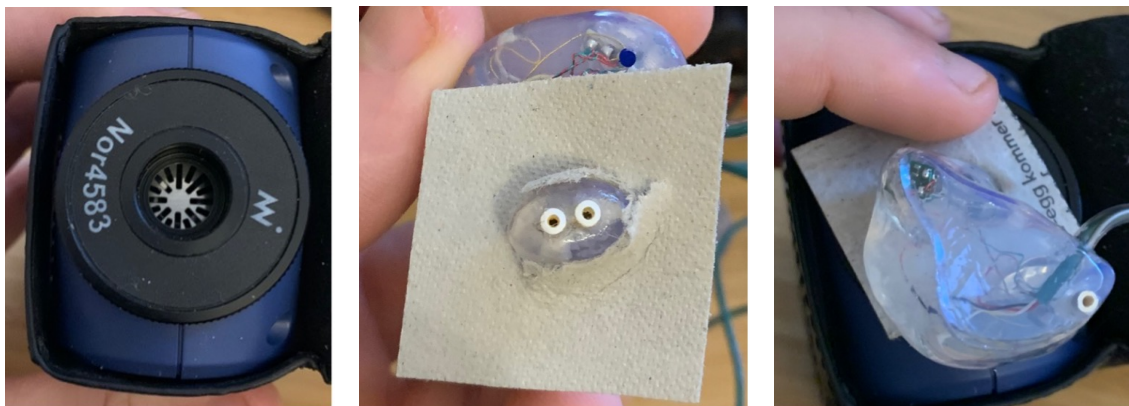
4.4.5 Ekvivalentnivå og dose

Det A-vektede ekvivalentnivået, diffust felt utenfor øret, i 1/3-oktavbånd $L_{p,Aeq,diffust,i}$ ble summert sammen til én verdi ved bruk av ligning (3.9). 1/3-oktavbåndene innenfor 125Hz til 8kHz ble valgt som frekvensområde til denne summeringen. Deretter ble den tilhørende dosen kalkulert ut i fra det summerte A-vektede ekvivalentnivået, diffust felt utenfor øret $L_{Aeq,diffust}$ og måleperioden i

timer T , med ligning (3.16). Koden for prosessene beskrevet i denne seksjonen og i forrige seksjon (4.4.4) vises i appendix (C.3). Alle frekvenskalibrerte ekvivalentnivå, både med og uten A-vekting og ISO 11904, for alle fire forsøkspersonene i 1/3-oktavbånd kan sees i appendix ved (D).

4.5 Generell kalibrering av IEM

Under måleperioden ble flere generelle kalibreringer av IEM gjennomført [som ikke må forveksles med frekvenskalibreringen forklart i seksjonene (4.1.4) og (4.2)], for å undersøke at mikrofonene opererte med lik sensitivitet gjennom måleperioden, og for å oppdage andre potensielle feil med måleprosedyren. Disse generelle kalibreringene ble gjennomført på følgende måte, se graf (4.14a), (4.14b), (4.14c):



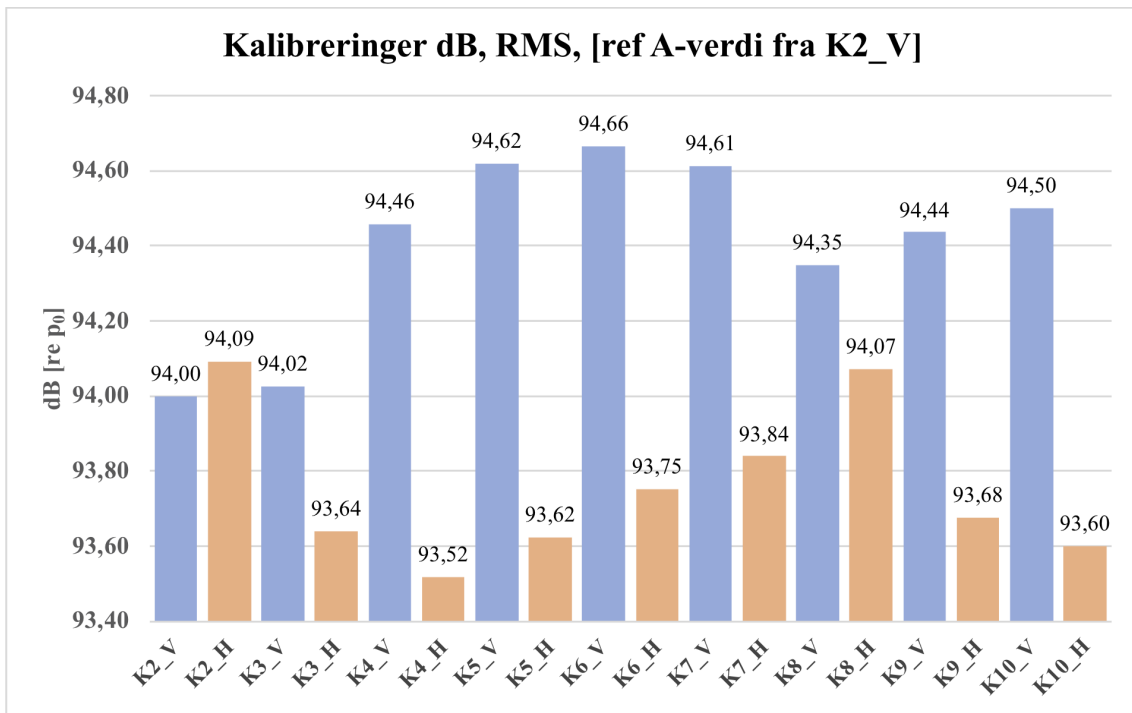
(a) Kalibrator NOR4583, for produksjon av harmonisk bølge ved 1 kHz

(b) IEM ble dekket med pappplate for å tette hull mellom IEM og NOR4583

(c) IEM med pappplate plassert så tett som mulig på NOR4583, for å begrense lekkasje

Graf 4.14. Generell kalibrering av IEM

For å teste om denne kalibreringsmetoden gav like nok resultat hver gang (mer eller mindre tettning mellom pappplate og kalibrator, vil gi forskjellige lydnivå), ble 9 kalibreringer på hvert øre gjennomført, med samme gaininnstilling. I ett forsøk på å se hvor "dårlige" resultater man kunne få, ble det lagt vekt på å ikke være særlig nøye på å få tettet mellom kalibrator og IEM. Det er derfor grunn til å tro at kalibreringene gjort i undersøkelsen er like nøyaktige eller mer nøyaktige enn de som er vist i graf (4.15):



Graf 4.15. 9 gjentatte kalibreringer på både høyre og venstre øre. Kalibrert ut i fra $K2_V$

Source: Matlab

Ideelt sett skulle alle kalibreringene gitt nøyaktig samme verdi. Det største avviket i graf (4.15) var på ca. 0,7 dB ($K6_H$). Basert på dette er det mulig å forvente at kalibreringsmetoden vil være ett sted mellom 0 og $\pm 0,7$ dB fra den ekte verdien.

4.6 Intervju med forsøkspersonene

Et intervju med kombinert debrief, ble gjennomført med alle fire forsøkspersonene. Spørsmålene valgt i intervjuet hadde som mål å gi ekstra dybdekunnskap rundt resultatene og konklusjonene i undersøkelsen. Spørsmålene var som følger:

1. Hvilket instrument spiller du?
2. Tror du det kan stemme at lydnivåene du ble utsatt for var skadelige?
3. Har du opplevd ringing i ørene etter konserter?
4. Tror du at du kunne spilt konsertene med lavere lytting og fortsatt gjennomført konserten med en like god prestasjon?
5. Hva tror du at du kunne gjort for å begrense lydnivåene du ble utsatt for?
6. Hvilke instrumenter har du vanligvis i lyttingen din?
7. Skruer du opp nivået på IEM lyttingen mellom lydprøve og konsert?
8. Har du noe annet å tilføye?

Transkripsjon av intervjuene vises i appendix seksjon (E), og refleksjoner fra intervjuene blir beskrevet i seksjon (5.4).

Kapittel 5

Resultater

I dette kapittelet vil alle A-vektede ekvivalentnivå L_{Aeq} , referere til det summerte A-vektede ekvivalentnivået, diffust felt utenfor øret, $L_{Aeq,diffust}$, som er beskrevet i seksjon 4.4.5.

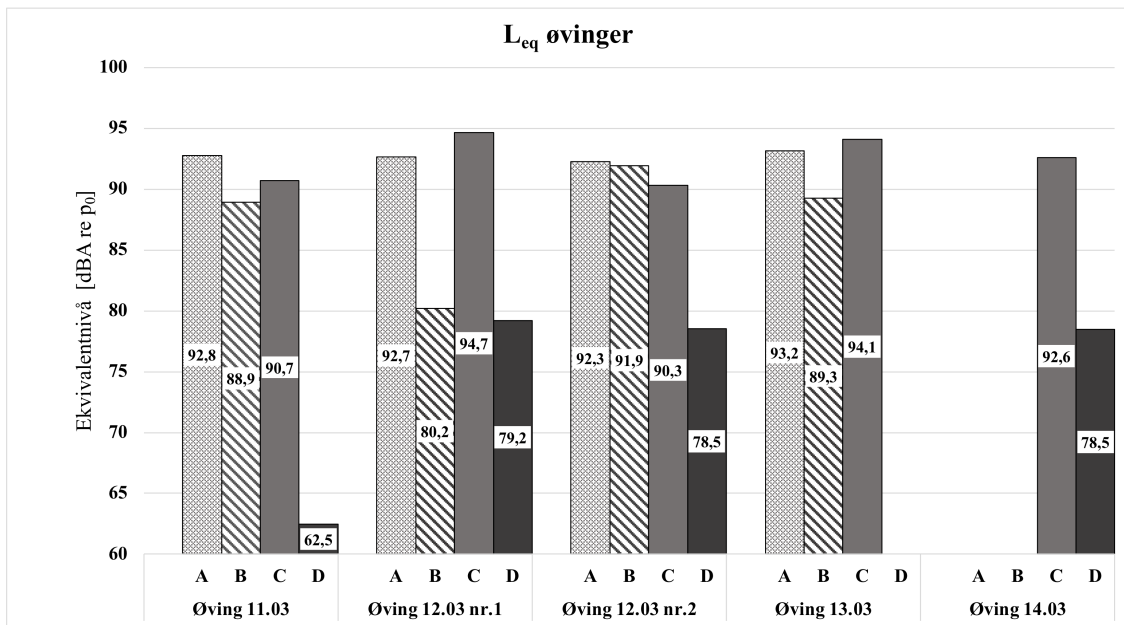
5.1 Lydnivå på tvers av forsøkspersoner

A-vektet ekvivalentnivå L_{Aeq} målt fra øvinger, preproduksjoner, lydprøver og konserter, for alle fire forsøkspersoner vises under i grafene (5.1), (5.2) og (5.3). De oppgitte ekvivalentnivåene har forskjellige måleperioder T , som kan sees i tabellene (3), (4) og (5) i appendix A. Koden som er brukt til å regne ut verdiene for de A-vektede ekvivalentnivåene presentert i dette kapittelet kan sees i appendix (C.3). De frekvenskalibrerte ekvivalentnivåene i 1/3 oktavnivå, både med og uten A-vekting og ISO 11904, for alle fire forsøkspersonene kan sees i appendix ved (D).

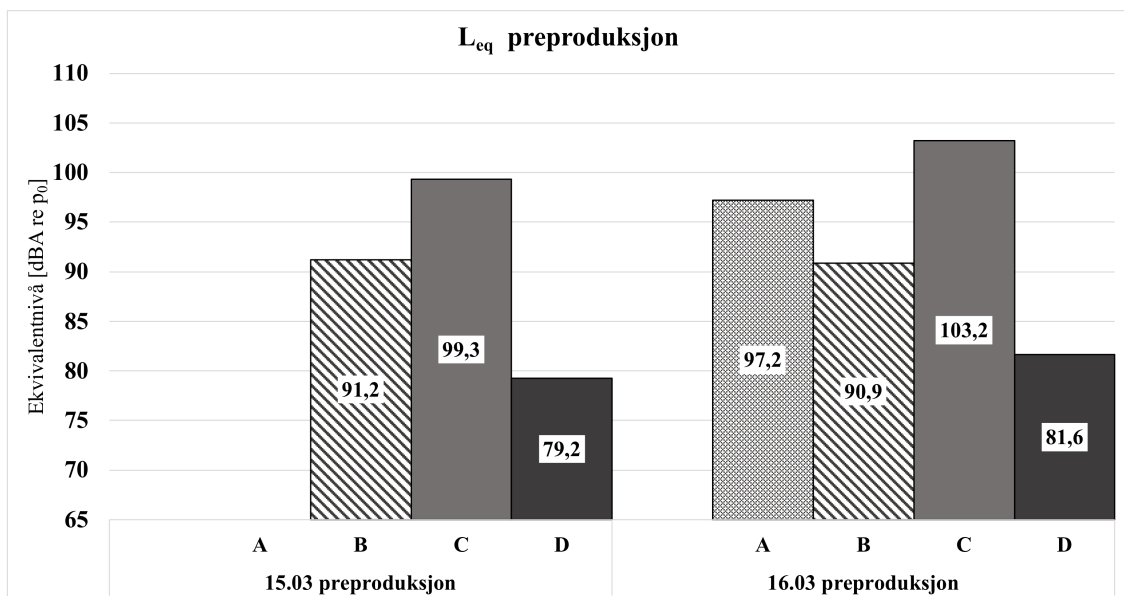
Kun den høyeste av de to målingene fra ørene er valgt. Grunnen er at målingene er omgjort fra lydtrykk målt i øret til diffust felt utenfor øret [se, (3.1.16) for mer informasjon]. Et høyere lydnivå resulterer i større sannsynlighet for skade på hørselen til forsøkspersonen. Derfor vil det høyeste målte lydtrykket for hver spillesituasjon være av størst interesse.

Det ble oppdaget en uvanlig form for klipping på flere målinger. Mer informasjon om dette finnes i seksjon (6.2.2), og en oversikt over hvilke målinger som inneholdt negativ klipping sees i tabellene (3), (4) og (5), markert med *.

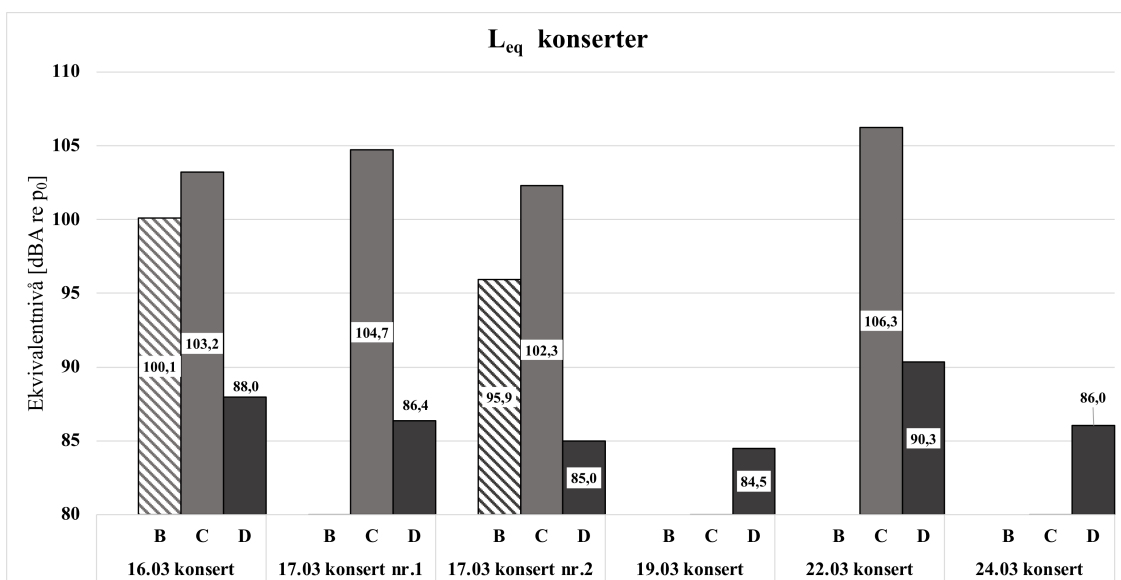
Ekvivalentnivået L_{Aeq} fra forsøksperson D, ved øving 11.03 er lavt sammenlignet med alle andre målinger, og det kan ha skjedd en feil her. Det er mulig eksempelvis gain-innstillingen fra denne målingen var feil. Se seksjon (6.2.3.1) for mer informasjon.



Graf 5.1. Ekvivalentnivå fra øvinger



Graf 5.2. Ekvivalentnivå fra preproduksjon



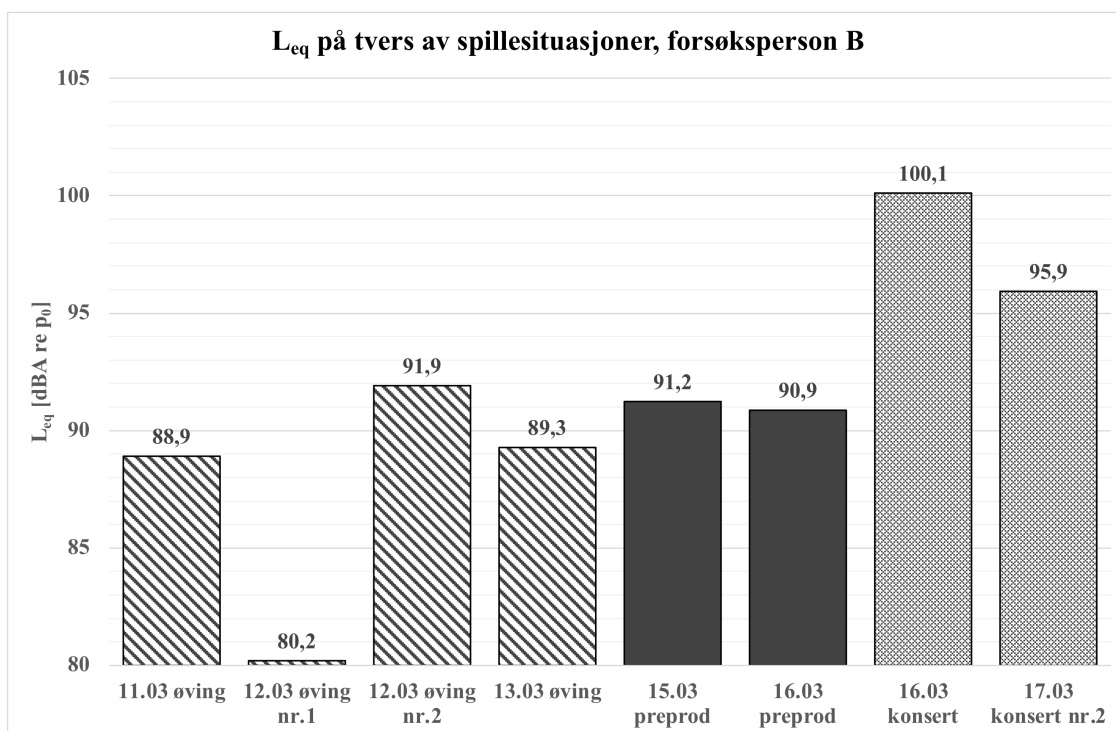
Graf 5.3. Ekvivalentnivå fra konserter (dessverre ingen målinger fra forsøksperson A her)

5.2 Lydnivå på tvers av spillesituasjoner

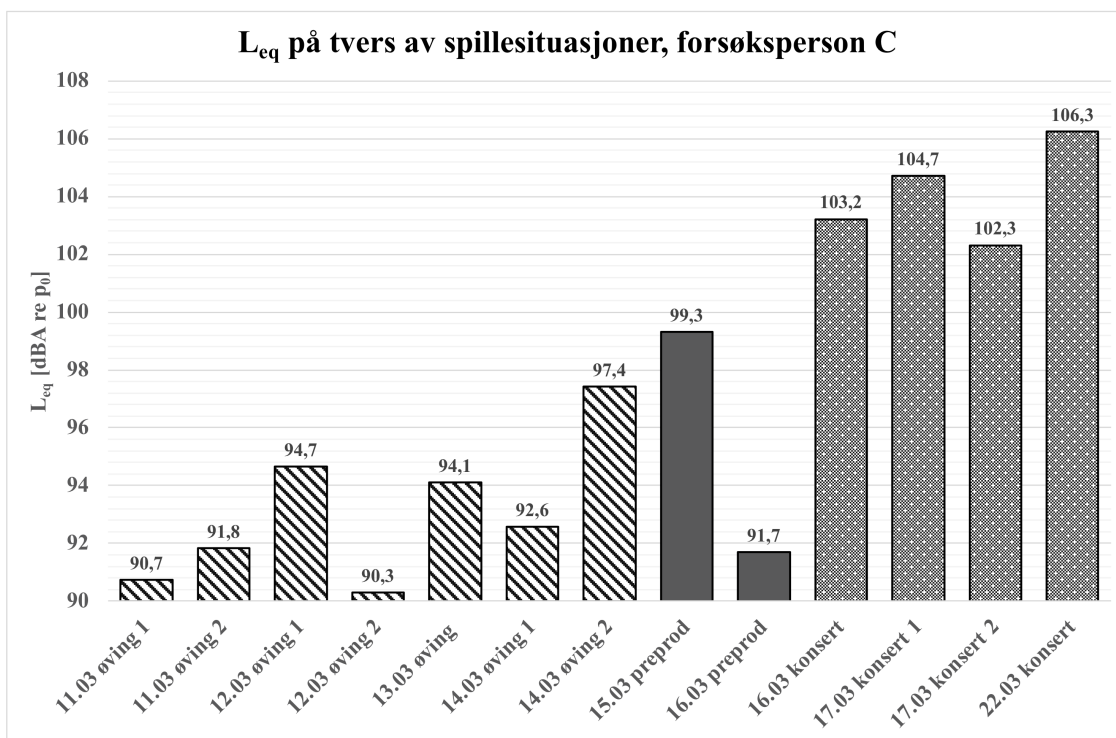
I grafene (5.4), (5.5) og (5.6) vises A-vektet ekvivalentnivå L_{Aeq} på tvers av spillesituasjoner for forsøksperson B, C og D. Målinger fra forsøksperson A vises ikke, på grunn av for lite datagrunnlag til å kunne sammenlignes. IEMen til forsøksperson A ble dessverre ødelagt etter konserten 17.03.2022.

Hos alle tre forsøkspersonene (B, C og D) er de høyeste målingene gjort på konsert, og det er merkbart lavere lydnivå på øvinger, preproduksjoner og lydprøver. Den laveste konsertmålingen for alle tre forsøkspersonene er høyere er den høyeste øving eller preproduksjonsmålingen.

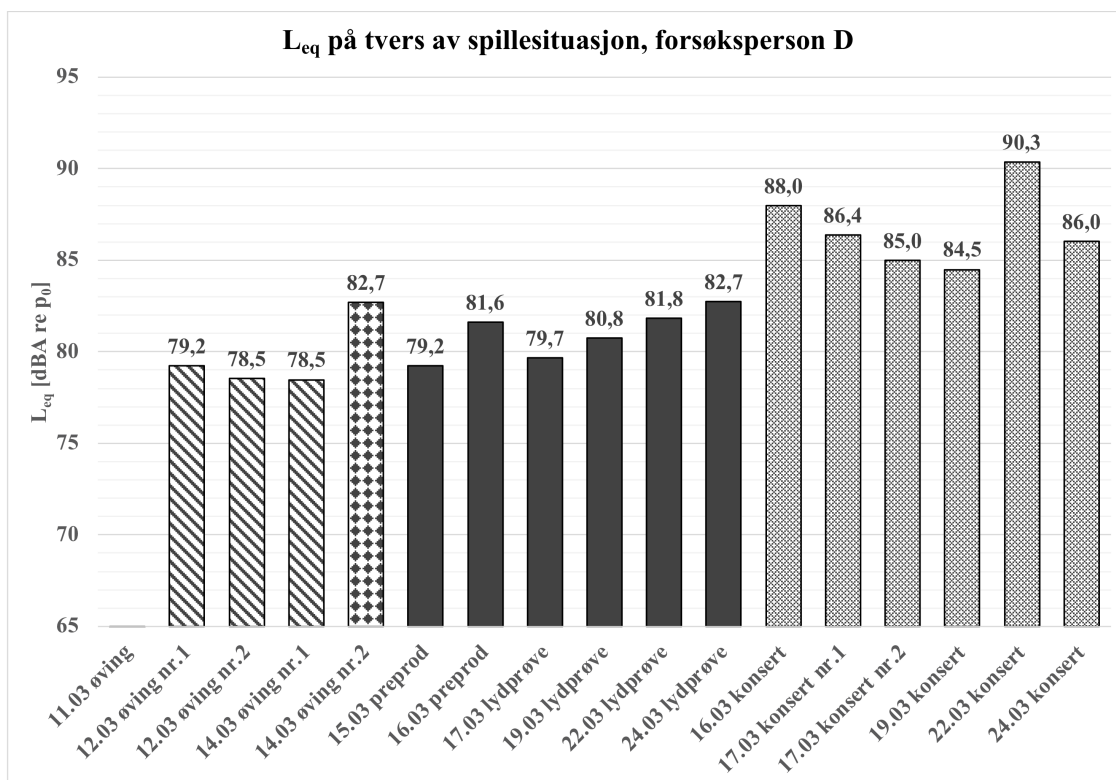
I graf (5.6), er det en måling som skiller seg ut, måling ”14.03 øving nr.2”. Det er mulig at denne ble tatt opp med feil gaininnstilling, og altså ikke var så høy i virkeligheten. Dette forklares nærmere i seksjon (6.2.3.1).



Graf 5.4. Ekvivalentnivå fra øvinger, preproduksjoner og konsertter, forsøksperson B



Graf 5.5. Ekvivalentnivå fra øvinger, preproduksjoner og konserter, forsøksperson C



Graf 5.6. Ekvivalentnivå fra øvinger, preproduksjoner og konserter, forsøksperson D

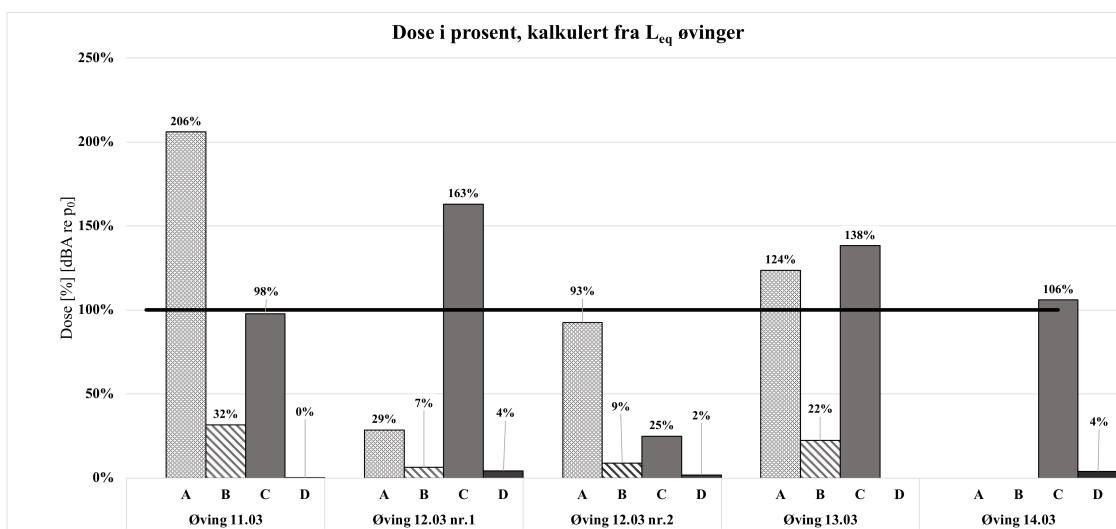
5.3 Doseberegning på tvers av forsøkspersoner

Doseberegninger på tvers av forsøkspersoner og spillesteder presenteres i grafene (5.7), (5.8) og (5.9). Doseberegningene er kalkulert ut i fra ligning (3.16), måleperioden og målt L_{Aeq} fra forsøkspersonene. Et stort antall av målingene er over 100%, noe som vil si at forsøkspersonene gikk over sin anbefalte daglige dose. Som nevnt i seksjon (3.1.15), desto høyere dose, desto høyere sannsynlighet for hørselsskader.

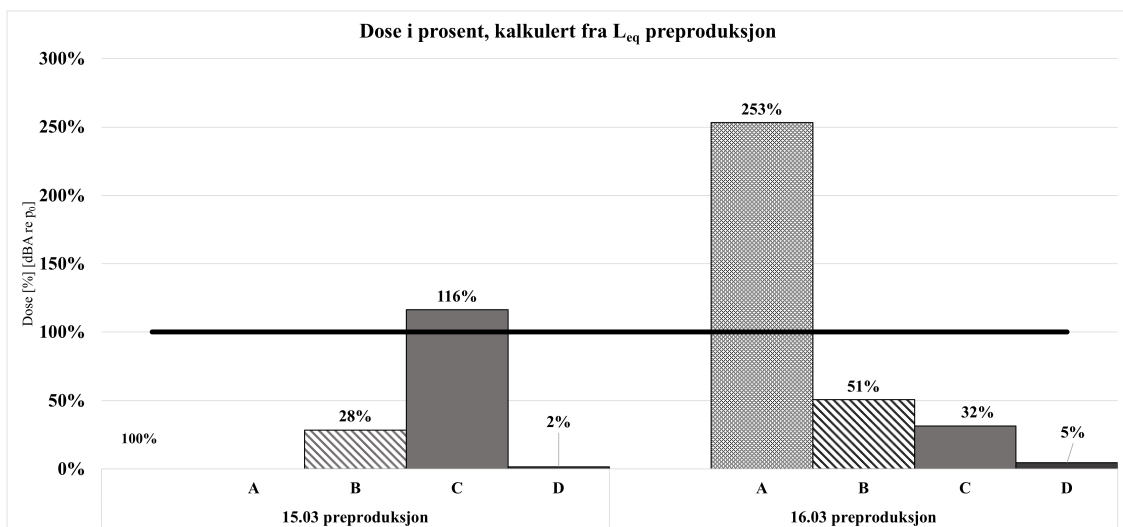
2 av 3 forsøkspersoner ble utsatt for skadelige lydnivåer ved alle konserter. Forsøksperson C ble utsatt for 17 ganger mer enn den anbefalte doseverdien ved konsert 22.03. Datagrunnlaget er lite for spesielt forsøksperson B, men det er grunn til å tro forsøkspersonen hadde hatt dosemålinger tilsvarende over 100% ved de fleste konsertmålinger, hvis en går ut i fra samme utvikling som ved forsøksperson C og D. Den laveste registrerte målingen for forsøksperson C er 17.03 konsert nr. 2, og her har forsøksperson B registrert godt over 100 %.

I grafene (5.4), (5.5) og (5.6), er det store individuelle forskjeller i målt L_{Aeq} mellom forsøkspersonene. Det er derfor ingen overraskelse at de tilhørende doseverdiene i grafene (5.7), (5.8) og (5.9) også har store forskjeller. Desibel kan ofte "skjule" hvor store utslag man egentlig har, mens doseverdiene i større grad viser forskjellene mellom forsøkspersonene. De største forskjellene sees i graf (5.9), ved "22.03 konsert" hvor forsøksperson C utsettes for 1765% og forsøksperson D kun utsettes for 35% av sin daglige dose. En overraskende stor differanse på 1730% forekommer her.

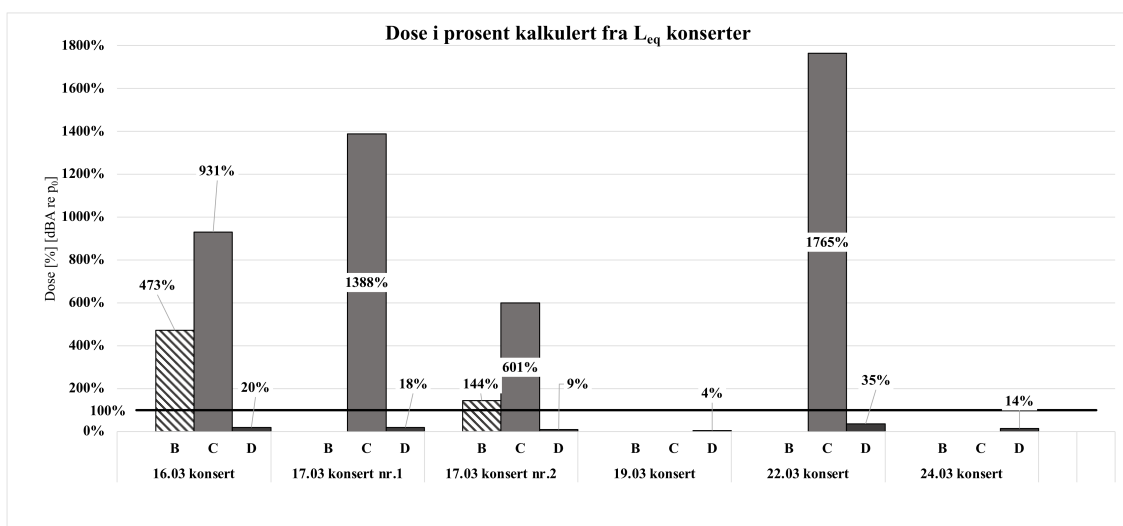
Det er også verdt å nevne at dosene oppgitt i grafene (5.7), (5.8) og (5.9), er kun for den øvingen, preproduksjonen eller konserten. Den daglige dosen til forsøkspersonen er sannsynligvis enda høyere, spesielt på konsertdager, da personen har hatt en lydprøve tidligere på dagen, og muligens går på byen etter konserten, noe som også bidrar på den daglige dosen.



Graf 5.7. Dose fra øvinger



Graf 5.8. Dose fra preproduksjoner



Graf 5.9. Dose fra konserter

5.4 Refleksjoner fra forsøkspersonene rundt resultatene

Alle fire forsøkspersonene ble intervjuet, for å samle deres refleksjoner rundt resultatene. Transkripsjon fra intervjuene vises i appendix (E).

5.4.1 Refleksjoner hentet fra intervjuene

Alle fire forsøkspersonene så for seg at det kunne stemme at lydnivåene målt var skadelige. 3 av 4 forsøkspersoner hadde også opplevd ringing i ørene etter å ha spilt en konsert. På spørsmål om muligheter for å skru lyttingen fra IEM lavere, trodde tre av forsøkspersonene at dette var mulig. Forsøksperson B mente at dette ikke hadde vært mulig for ham, pga. problemer med IEMene sine. Alle fire forsøkspersonene mente at IEMer med mer passiv demping, kunne gjøre det lettere å ha lavere nivåer i lyttingen. Her er det verdt å nevne at IEMene brukt i denne oppgaven er lagd av hard akryl, noe som ofte gir dårligere demping enn myk silikon. Alle fire forsøkspersonene har dessuten gått over til IEMer med myk silikon etter denne undersøkelsen ble gjort. Flere

andre forslag for å senke lydnivåene ble også nevnt, deriblant å sette lydnivået på lytting før konserten, lage IEMer som forteller hvor høyt lydnivået er i øret, begrense publikumsmikrofonene i lyttingen, være bevisst på lydnivåer, bedre miksing av monitor, bruke samme klikket på alle sangene kontra forskjellig klikk, større avstand til PA og subs, bruk av limiter på IEM lytting og bruk av dobbelt hørselsvern (IEM + øreklokker). Forsøksperson D skilte seg ut ved spørsmål om hva forsøkspersonene prioriterer i lyttingen. I stedet for å ”litt av alt”, med noen variasjoner, slik de andre forsøkspersonene oppga, prioriterte forsøksperson D å kun ha det han måtte ha for å spille konsert, og dermed begrense lydkilder som ikke var like nødvendige i lyttingen. Dette er interessant, siden forsøksperson D også ble utsatt for de laveste dosemålingene i gruppen. Alle forsøkspersonene var sikre på at de skrudde opp lyttingen under konsert, unntatt forsøksperson A som var usikker, men som i så fall ikke gjorde dette ofte. Forsøksperson B og D forklarte at de skrudde opp lyttingen fordi det på konsert introduseres nye lydkilder, og fordi eksisterende lydkilder skrur opp på konsert, sammenlignet med lydprøve.

Kapittel 6

Diskusjon, begrensninger og feilkilder

I dette kapitlet vil ekvivalentnivå referere til det summerte A-vektede ekvivalentnivået, diffust felt utenfor øret, $L_{Aeq,diffust}$, som er beskrevet i seksjon 4.4.5.

6.1 Diskusjon

6.1.1 Hva er hovedkilden til de høye lydnivåene?

Vi ser store individuelle forskjeller i målt ekvivalentnivå L_{eq} mellom forsøkspersonene, selv om forsøkspersonene har spilt sammen på de samme scenene og øvingslokalene. Det er lite sannsynlig at disse forskjellene stammer fra lokale variasjoner i det ambiente lydnivået på scenen og i øvingslokalet. Derfor er det sannsynlig at det lyttenivået som i stor grad er kilden til de store forskjellene i målt L_{eq} . Dette samsvarer godt med funnene til (Fenderman and Ricketts 2008) om at lyttevanene til forsøkspersonene har stor betydning for hvor høye lydnivå brukeren blir utsatt for. Se (2.2.2) for mer informasjon. Brukeren kan selv velge lydnivå på sin IEM, og ut i fra funnene ser det ut til at man havner i både skadelige, og ikke skadelige lydnivå, basert på hvor høyt brukeren har skrudd lyttingen i sin IEM. Dette støtter opp under teorien om at vanene til forsøkspersonene er av stor betydning for lydnivået de utsettes for. Forsøksperson A og C har som regel de høyeste lydnivåene, mens B har litt lavere nivåer. A, B og C har flere målinger med potensielt skadelige lydnivåer. Forsøksperson D skiller seg merkbart ut, med vesentlig lavere lydnivåer enn A, B og C, og sannsynligvis ingen skadelige lydnivåer.

6.1.2 Hvorfor ble forsøkspersonene A, B og C utsatt for skadelige lydnivåer over tid, mens forsøksperson D ikke ble det?

Som nevnt i forrige seksjon, er det i stor grad lyttevanene til forsøkspersonene som bestemmer lydnivået de blir utsatt for. Hvorfor lyttevanene til forsøksperson D resulterer i såpass mye lavere lydnivåer over tid er altså av stor interesse. Det er mulig forsøksperson D er vant til og har lavere krav til signal-støyforholdet i lyttingen sin, sammenlignet med de andre forsøkspersonene, og at dette altså er grunnen til at forsøkspersonene A, B og C har høyere et lydnivå sammenlignet. Dette ville i så fall forklart hvorfor forsøksperson D har merkbart lavere lydnivåer i alle spillesituasjoner, sammenlignet med de andre forsøkspersonene. Her er det viktig å legge vekt på at dette er en vane. Med øving er det mulig forsøkspersonene A, B og C også kan skru ned lyttingen sin tilsvarende det forsøksperson D gjorde, og dermed ha et dårligere signal-støyforhold, men likevel høre nok til at de klarer prestere. I intervju nevnte også alle forsøkspersonene untatt B at de trodde de kunne ha skrudd ned lyttingen sin, og fortsatt prestert på samme nivå. Det er altså rom for begrensning

av lyttenivåene. En av grunnene til at forsøkspersonene ikke gjorde dette, kan være at de rett og slett ikke var bevisste på lydnivåene fra IEMene deres. Fra intervjuene er det mulig å trekke slutninger om hvor bevisste forsøkspersonene er angående lyttenivåene de har satt i IEMene deres. Forsøkspersonene A, B og C nevner eksempelvis at de har litt av alle instrumentene i IEMene deres, mens forsøksperson D legger vekt på å fjerne alle instrumenter som ikke er essensielle for lyttingen hans. Forsøksperson D prøver å fjerne lydkilder i lyttingen hans som er unødvendige, og dermed gi mer plass til de viktigste elementene i lyttingen, slik at han kan skru lyttingen ned og fortsatt høre de viktigste elementene greit. Dette gir trolig en kjøpere lytteopplevelse når musikeren spiller, men lavere lydnivåer i lyttingen. Siden forsøksperson D er villig til å ofre lytteopplevelsen mot lavere lydnivåer, er han trolig også mer bevisst på å begrense lyttenivåene i IEMene enn det de andre forsøkspersonene er. En slik strategi hvor man fjerner unødvendige lydkilder i lyttingen ser ut til å kunne være effektiv metode for å begrense lydnivåene man blir utsatt for i en spillesituasjon.

Hvis dette stemmer, er altså det generelle lydnivået på scenen også av betydning for det generelle lydnivået forsøkspersonene blir utsatt for.

6.1.3 Hvorfor var alle målte ekvivalentnivå høyere på konsert sammenlignet med de andre spillesituasjonene?

Det er grunn til å tro at lydnivåene på scenen på konsert er merkbart høyere enn under lydprøve eller eksempelvis øving. Alle fire forsøkspersonene rapporterte dette i intervju. På konsert spiller musikere ofte høyere, sammenlignet med lydprøve, blant annet på grunn av høyere sceneambians [se seksjon (2.2)]. Forsøkspersonene B, C og D innrømmet også at de vanligvis skrudde opp lyttingen under konsert, mens forsøksperson A trodde også han hadde gjort det noen ganger. Dette vil også øke det målte ekvivalentnivået på konsert. Det er også slik at det å ha et godt signal til støyforhold kan være betryggende for musikerne. Spesielt i en konsertsituasjon hvor det er en betydelig risiko og involvert med å spille foran et publikum, og hvor adrenalinet muligens pumper i blodet, kan det være vanskelig å ikke skru opp lyttingen litt, slik at signal til støyforholdet blir bedre. Forsøksperson A nevner også i intervjuet at han trenger å kjenne at han er i rommet for å kunne prestere, og trenger derfor ett visst lydnivå fra IEMene.

6.1.4 Hva betyr de store forskjellene i doseverdiene?

De høye doseverdiene vist i grafene (5.7), (5.8) og (5.9) og forskjellen mellom forsøkspersonene, viser tydelig at IEMene har muligheten til å både beskytte, men også skade hørselen til brukerne. Alle målingene til forsøksperson D er eksempelvis under grenseverdien til arbeidsmiljøloven, mens alle målingene men unntak av to målinger hos forsøksperson C er godt over grenseverdien.

6.1.5 Fordeler og ulemper med denne typen feltmåling, sammenlignet med lab måling

Ett av de mer interessante funnene i denne oppgaven, er at alle forsøkspersonene ble utsatt for merkbart høyere lydnivåer på konsert kontra øving og preproduksjon/lydprøver. Det er grunn til å tro at lydnivåene er høyere på konsert sammenlignet med lydprøver, på grunn av publikum, og at musikerne generelt spiller høyere på instrumentene. I tillegg er det også mulig musikerne skrur opp lydnivået på IEMene på konsert. En av grunnene til at musikerne muligens gjør dette er på grunn av adrenalinet som kommer av å spille konsert. En lignende undersøkelse gjort i et laboratorium vil sannsynligvis ikke klare å skape en situasjon som er realistisk nok til å ”fremprovosere” slik adferd hos forsøkspersonene. Det er sannsynlig at en undersøkelse gjort i laboratorium vil minne mer om en øvingssituasjon for forsøkspersonene. I så fall vil man få merkbart lavere registrerte lydnivåer med laboratoriemålingene, og dermed få ”tryggere målinger” enn om forsøket ble gjort på konsert.

En klar ulempe med å gjøre målinger under konsert, er alle feilkildene og begrensningene involvert med målingene. Disse usikkerhetene diskuteres i kapittel 7.

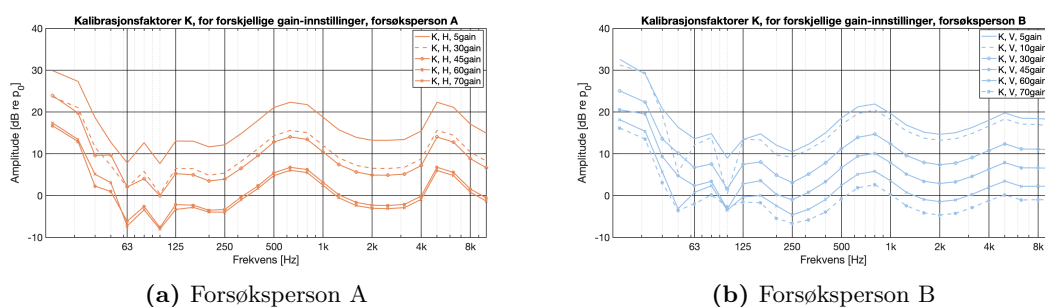
6.1.6 Hva kan gjøres for å senke lydnivåene musikerne blir utsatt for?

Siden det virker som det ikke er sceneambiansen som er hovedkilden til lydnivåene musikerne blir utsatt for, men lyttingen deres (altså lydnivået fra høyttalerelementet i IEM), er den åpenbare løsningen å få musikerne til å skru ned lyttingen. Problemet med dette er at musikerne vil få dårligere signal-støyforhold av å gjøre dette (mer av sceneambiansen vil påvirke lyttingen). Det er likevel mulig at en senking av lyttingen vil være akseptabelt for mange musikere, slik som Fenderman and Ricketts 2008 fant i deres undersøkelse. I så fall må musikerne instrueres slik at de gjør dette. En annen løsningen er å øke den passive dempningen gitt av IEMene, slik at mer av sceneambiansen dempes. I intervju etterspør alle fire forsøkspersonene IEMer med mer passiv dempningen enn det de som ble brukt i denne oppgaven gav [se seksjon (5.4)]. Dette ville gitt musikerne mulighet til å ha lyttingen lavere, uten at signal-støyforholdet endres. En tredje løsning blir å senke det generelle ambiensnivået på scenen. På denne måten kunne musikerne også skrudd ned lyttingen sin, uten at signal-støyforholdet endres. I praksis kan dette oppnås ved å fjerne lyd kilder fra scenen, som å gå over fra gitarforsterkere til digitale gitarforsterkere, bytte ut det akustiske trommesettet med et elektrisk og spille lavere lyd fra PA etc.

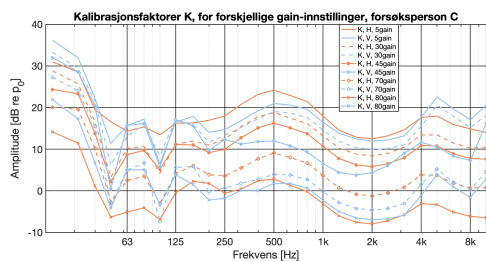
6.2 Feilkilder

6.2.1 Frekvenskalibrering, egenstøy og estimert frekvensrespons til IEM mikrofoner

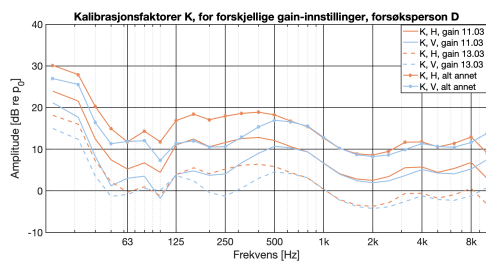
At kalibreringsfaktorene K_i for forskjellige gaininnstillinger blir kalkulert på riktig vis, er av stor betydning for nøyaktigheten av målingene gjort i undersøkelsen. Det kan derfor være interessant å undersøke disse nærmere. Kalibreringsfaktorene K_i for forskjellige gaininnstillinger, for de fire forskjellige forsøkspersonene vises i grafene: (6.1a), (6.1b), (6.2a) og (6.2b). K_i er basert på den målte frekvensresponsen til IEM mikrofonene, og det kan derfor være interessant å sammenligne disse med den oppgitte frekvensresponsen til mikrofonene. Selv om den oppgitte frekvensresponsen og den målte frekvensresponsen er basert på forskjellig grunnlag, kan det likevel være nyttig å se etter likeheter mellom de to frekvensresponsene. Her er det relevant å tenke på at frekvensresponsen til IEM mikrofonene er kalkulert fra en differanse med en "fasit" frekvensrespons som minner om det menneskelige øret [se seksjon (4.2.2)], mens den oppgitte frekvensresponsen fra Knowles er kalkulert i fritt felt [se grafene (1) og (2) i appendix (B)]. En sammenligning mellom den oppgitte frekvensresponsen fra Knowles og den kalkulerte frekvensresponsen for IEM mikrofonene for alle fire forsøkspersonene vises i grafene, (6.3a), (6.3b), (6.4a) og (6.4b):



Graf 6.1. kalibreringsfaktorene K_i , for forsøksperson A og B

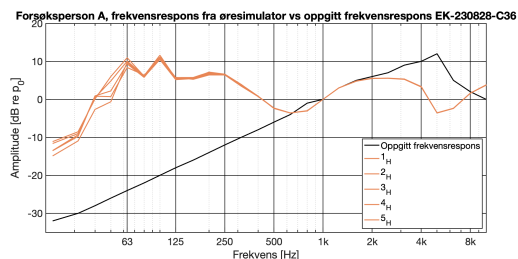


(a) Forsøksperson C

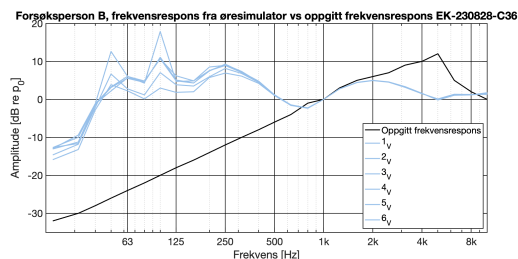


(b) Forsøksperson D

Graf 6.2. kalibreringsfaktorene K_i , for forsøksperson C og D

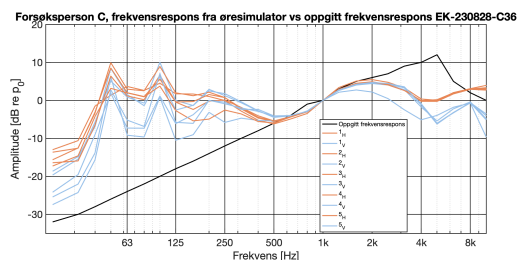


(a) Forsøksperson A

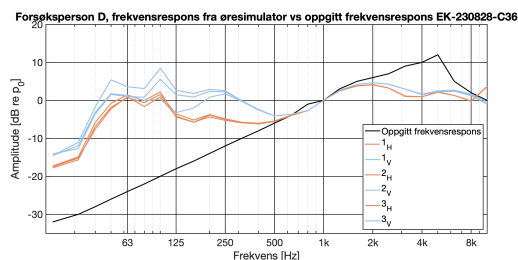


(b) Forsøksperson B

Graf 6.3. Oppgitt vs målt frekvensrespons med øresimulator



(a) Forsøksperson C



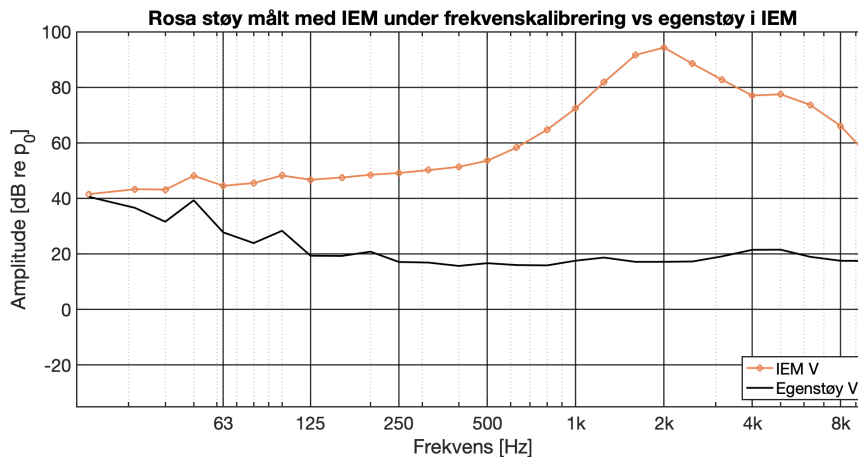
(b) Forsøksperson D

Graf 6.4. Oppgitt vs målt frekvensrespons med øresimulator

På tvers av den oppgitte frekvensresponsen for flere gaininnstillinger, for alle fire forsøkspersonene, er det tydelige trender som går igjen. Ved frekvenser under ca. 500 Hz, er IEM mikrofonene mer følsomme sammenlignet med den oppgitte frekvensresponsen. Rundt 500 Hz til 2 kHz, følger IEM mikrofonene og den oppgitte frekvensresponsen omtrent samme mønster. Fra 2 til 5 kHz, faller IEM mikrofonene av. Til slutt møtes IEM mikrofonene og den oppgitte frekvensresponsen ved rundt 8 kHz.

Det er forventet at den målte frekvensresponsen til IEM mikrofonene faller av ved de høyere frekvensene (rundt 2 kHz og oppover). Som nevnt i seksjon (4.1.1), gjør tubene mikrofonene er koblet opp i at høyere frekvenser faller av. Det er imidlertid vanskeligere å forklare hvorfor den oppgitte frekvensresponsen og den målte frekvensresponsen til IEM mikrofonene møtes senere ved rundt 8 kHz. Videre er det også forventet at den målte frekvensresponsen tilsynelatende skal være mer sensitiv til lavere frekvenser sammenlignet med den oppgitte frekvensresponsen. Tidligere undersøkelser av IEM mikrofonene viser at systemet har en god del egenstøy i de lavere frekvensene, som kan være med å påvirke den målte frekvensresponsen. Dette betyr imidlertid at IEM mikrofonene ikke blir mer sensitive til lavere frekvenser, men at egenstøyen i systemet gir falske målinger. I graf (6.5) sammenlignes den tidligere målte egenstøyen med en uvektet kalibrert måling i 1/3-oktavnband fra IEMene under frekvenskalibreringen. Her ser man at det generelle støynivået er en god del lavere enn det målte lydnivået med IEM mikrofonene, frem til 63 Hz. Egenstøyen er altså kun en liten del av det målte lydnivået, noe som betyr at man ikke kan peke på egenstøyen som hovedgrunnen til at den målte frekvensresponsen er mer sensitiv til

lave frekvenser sammenlignet med den oppgitte frekvensresponsen. Selv om egenstøyen påvirker frekvensrespons målingene, er ikke dette av nevneverdig betydning, da alle målingene A-vektes [se ligning (3.10) og tabell (1) i appendix (A)]. Økning i frekvensrespons rundt 8kHz er heller ikke av stor betydning, da A-vekting også fjerner en del av energien i de høye båndene. A-vekting fjerner også energi i de lave frekvensene, slik at denne ekstra sensitiviteten vil ha lite å si for det endelige A-vektede ekvivalentnivået. Som vist i figurene (6.6) og (6.7), er det i stor grad båndene rundt 500 Hz til 2 kHz som er av størst betydning for det endelige A-vektede ekvivalentnivået.



Graf 6.5. Rosa støy målt med IEM mikrofon fra frekvensvekting sammenlignet med egenstøy målt med samme IEM mikrofon

Source: Matlab og egne målinger

6.2.2 Generell klipping og overraskende klipping i negative utslag

Det ble oppdaget en uvanlig form for klipping på flere målinger gjort på forsøksperson A, B og C. Klippingen oppstod kun på de negative verdiene av målingene. Disse negative klippingene oppstod ikke som følge av at utslagene var for store i forhold til gaininnstilling, som forklart i seksjon (3.1.10), men klippet tilsynelatende som om en "limiter" var brukt på kun de negative utslagene. Denne "limiteren" varierte i threshold over tid. En sammenheng mellom høyere lydnivå, og krappere klipping ble også funnet på målingene. En oversikt over hvilke målinger som klippes sees i tabellene (3), (4) og (5) i appendix (A), markert med *.

Noen få instanser av generell digital klipping ble også oppdaget, men disse var sjeldne nok til at de ikke påvirket det A-vektede ekvivalentnivået i nevneverdig grad.

6.2.2.1 Undersøkelse av utstyr og rekonstruering av den negative klippingen

Etter at denne uvanlige negative klippingen ble oppdaget, ble høyttalerne og mikrofonene i IEMene undersøkt, for å se om systemet var skadet. Ingen tegn til skade ble oppdaget, mikrofonene og høyttalerene fungerte som de skulle. Deretter ble det forsøkt å rekonstruere den negative klippingen, for å se om adferden kunne fremprovoseres. Målinger ble gjort med IEM mikrofonene plassert inntil scenehøyttalere, som spilte av høy musikk. På grunn av begrensede midler ble iPhone appen "Desibel X" brukt, som en slags referanse på lydtrykk. iPhoneen var ikke kalibrert. Derfor kunne ikke målingene med mikrofonene brukes til å estimere det faktiske lydnivået, kun lydnivåene relativt til hverandre. A-vekting ble valgt i appen, og to lydnivå ble undersøkt, hvor mikrofonen på iPhoneen ble plassert inntill høyttaleren, på samme måte som IEM mikrofonene. De målte A-vektede ekvivalentnivåene var henholdsvis 120 dBA, og 103 dBA. Målingene ble deretter analysert i tidsdomenet. Resultatet viste at målingen på 120 dBA opplevde samme negative klipping, mens målingen på 103 dBA ikke hadde tegn til negativ klipping. Det ble dermed tydelig at mikrofonen mest sannsynlig var kilden til feilen (og ikke høyttaleren), og at den negative klippingen var et

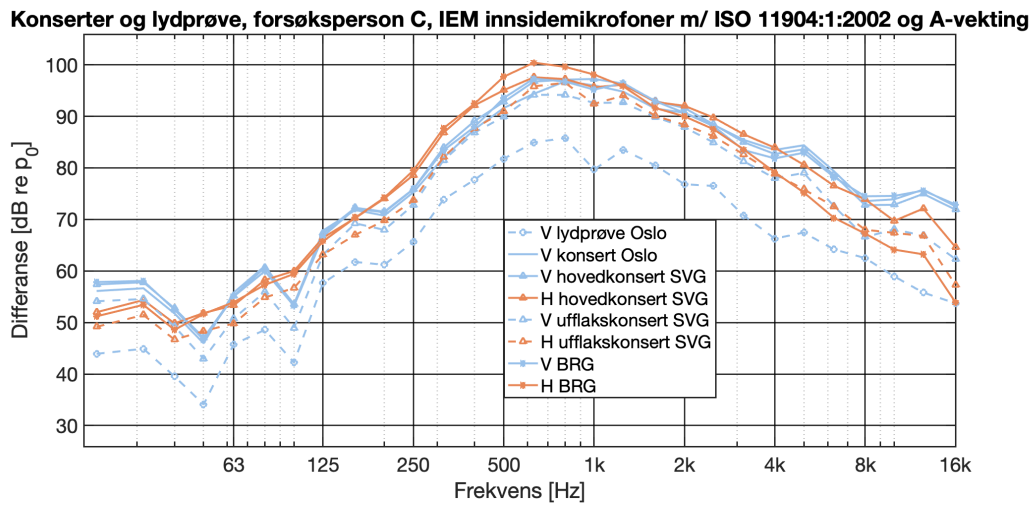
resultat av høye lydnivå.

6.2.2.2 Rekonstruering av klipping

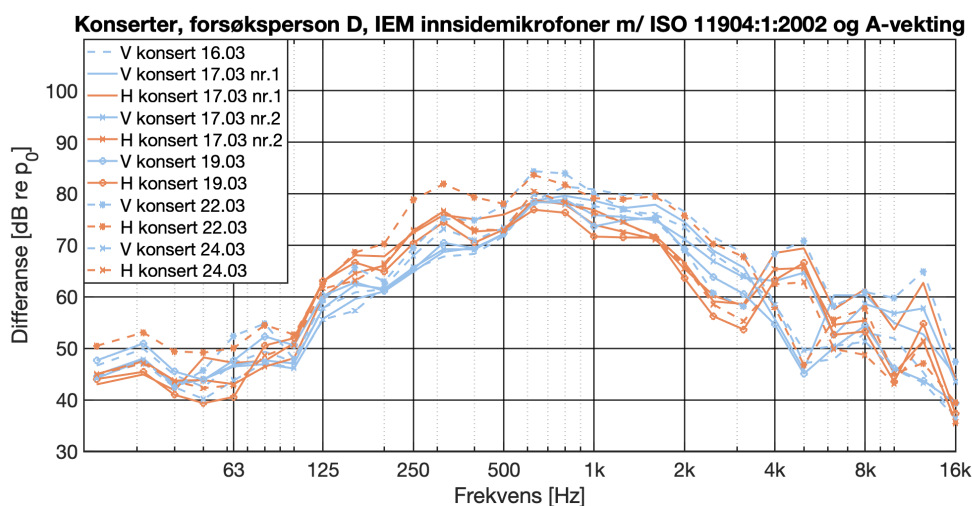
Flere forsøk på å restaurere målingene med klipping ble gjennomført. "Clipfix" fra Audacity, og Izotope RX8 "de-Clip" ble blant annet forsøkt, uten hell. Ekvivalentnivå i 1/3-oktavnivå viste lite til ingen forskjell på den originale målingen og den restaurerte målingen. Skuffende nok var forskjellene få også med tanke på lyttekvalitet når den originale og restaurerte målingen ble undersøkt.

6.2.2.3 Følgefeil ved klippingen, og hvorfor det mest sannsynlig kun produserer lavere A-vektet ekvivalentnivåer

Dessverre vil klipping som nevnt i seksjon (3.1.10) fjerne litt av energien i signalet, og i tillegg skape uønskede overtoner. Dette gir følgefeil ved de ulike vektingene som signalet behandles med, fordi vektingen er forskjellig på de forskjellige oktavnivåene. Det vil dermed oppstå en følgefeil ved A-vekting, konvertering fra øret til diffust felt, og ved kalibreringsfaktorene fra frekvenskalibreringen. Graf (6.6) og (6.7), viser forskjellene i frekvensinnhold i 1/3-oktavnivå mellom forsøksperson C og D, for flere konserter. Det er tydelig at 1/3-oktavnivåene mellom 500 Hz og 1 kHz inneholder mest energi, og dermed også er av størst betydning for det endelige A-vektede ekvivalentnivået. 1/3-oktavnivå med mindre energi enn dette vil ha liten betydning for det endelige A-vektede ekvivalentnivået. Alle målingene vist i graf (6.6) er preget av negativ klipping, mens ingen av målingene i graf (6.7) inneholdt negativ klipping.

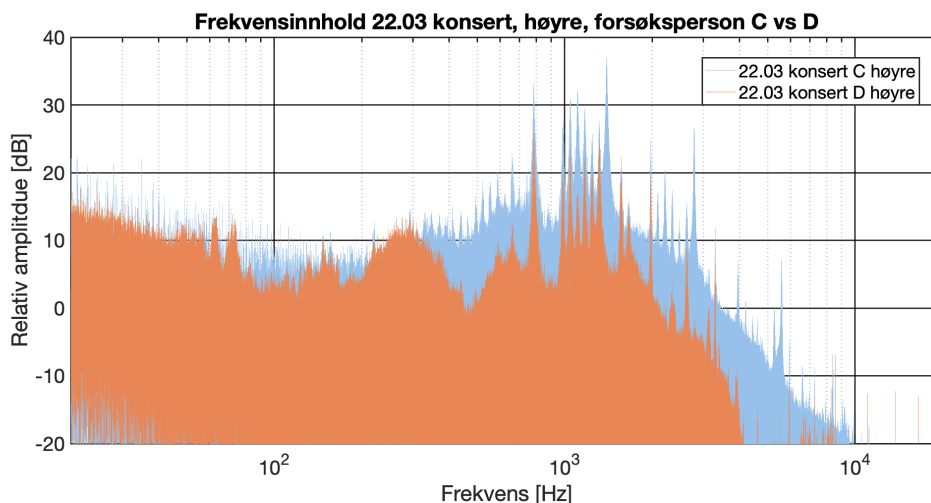


Graf 6.6. Ekvivalentnivå i 1/3oktavnivå fra konserter, forsøksperson C, med negativ klipping



Graf 6.7. Ekvivalentnivå i 1/3oktavgbånd fra konserter, forsøksperson D, uten negativ klipping

Graf (6.8) sammenligner frekvensinnholdet for konserten gjennomført 22.03.2022, høyre øre hos forsøksperson D og C. Forsøksperson C er den blå grafen, mens forsøksperson D er den røde grafen. Vi ser en økning i høyfrekvent innhold i frekvensinnholdet til forsøksperson C, sammenlignet med D. Dette kan indikere at den negative klippingen produserer overtoner som minner om støy, i de høyere frekvensene. En kan forvente at den negative klippingen vil "flate" ut signalet, altså at energien i det som tidligere var en "topp" i frekvensinnholdet blir redusert, og fordelt ut på resten på frekvensinnholdet som støy. Fra grafene (6.6), (6.7) og (6.8) er det tydelig at toppene ligger ved rundt 500 Hz til 1 kHz. Som nevnt er det dette frekvensområdet som i størst grad definerer det endelige A-vektede ekvivalentnivået. Man kan derfor gå ut i fra at det endelige ekvivalentnivået for målingene med negativ klipping vil bli litt lavere enn i virkeligheten, både på grunn av at klippingen fjerner litt av energien i signalet, og fordi de uønskede overtonene fjerner litt av energien i toppene, og omfordeler dem som støy på resten av frekvensinnholdet. Man kan dermed tenke på det endelige A-vektede ekvivalentnivået som at $L_{Aeq,virkeligheten} \geq L_{Aeq,m\ddot{a}lt}$ for målingene som inneholdt negativ klipping.



Graf 6.8. FFT fra 22.03 konsert, Høyre forsøksperson C vs D, ingen vekting

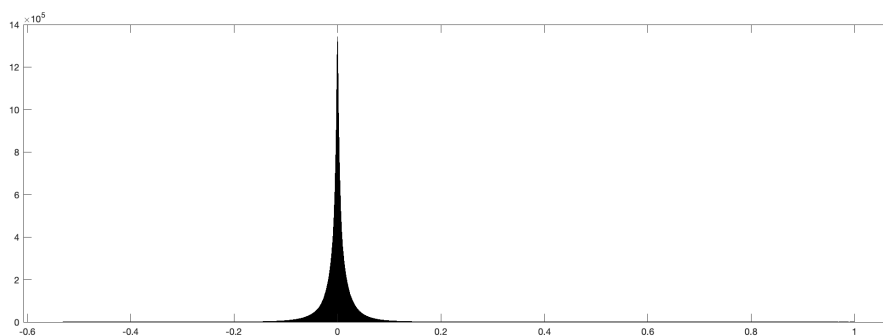
6.2.2.4 Fjerne de negative utslagene og summere med 3?

En kan gå ut i fra at amplituden i målingene for de positive utslagene, er omtrent likt som i de negative utslagene. Det ble derfor foreslått å fjerne de negative utslagene i målingene med

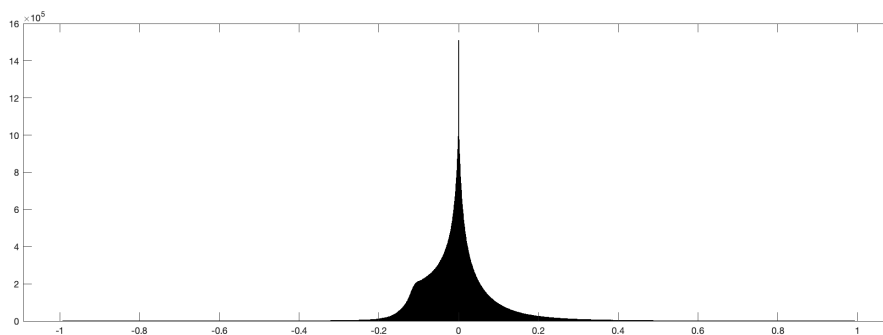
negativ klipping, og kun gå ut i fra de positive utslagene. Deretter ble det foreslått å summere det gjennstående signalet (kun de positive utslagene) med +3 dB, som tilsvarer en dobling i energi. Dette ble tidlig forkastet som en løsning, da denne prosessen i praksis kun skapte et signal med enda mer ekstrem negativ klipping. Mer negativ klipping ville resultert i at signalet inneholdt enda flere overtoner, som ville gjøre signalet mindre likt virkeligheten. Et annet problem med denne metoden, er at man ikke kan gå ut i fra at energifordelingen mellom positive og negative utslag er helt likt. Små forskjeller vil også oppstå, som kunne vært et problem for metoden.

6.2.2.5 Offset

Det ble også undersøkt om feilen med negativ klipping skyldes et offsett i mikrofonene. Ved analyse av målingene med klipping, med et histogram, ble dette avkreftet, se graf (6.9) og (6.10). Amplituden til målingene er i pascal. I graf (6.10) vises histogrammet av en måling for høyre øre, gjort på konsert 22.03.2022 av forsøksperson D. Her er amplituden fordelt rundt 0, med en naturlig fordeling. I graf (6.10) vises samme konsert og øre for forsøksperson C. Den negative klippingen er tydelig i histogrammet, med det er likevel ingen tegn til offsett. Vi har tydelig størst ansamling av verdier rundt 0, og også en mindre ansamling ved rundt -0,1 som nok er der amplituden som oftest klippet.



Graf 6.9. Histogram av konsert 22.03 høyre, forsøksperson D, naturlig fordeling i histogram



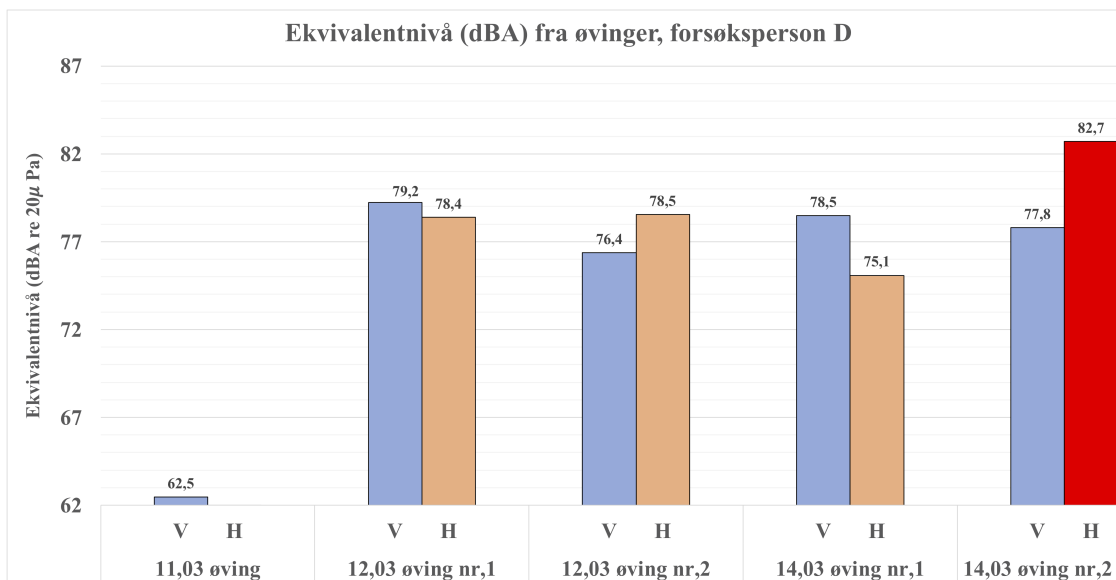
Graf 6.10. Histogram av konsert 22.03 høyre, forsøksperson C, markant klipping i negative utslag, men fortsatt størst ansamling ved 0

6.2.3 Andre mulige feilkilder

6.2.3.1 Feil gaininnstilling

Målingene ble gjort under en intensiv øvingsperiode med en påfølgende like intensiv turné. Derfor er det mulig at en feil under målingene forekom. De fleste målingene ser fornuftige ut, og hvis

man noterte feil gaininnstilling på en måling, er det sannsynlig at denne målingen ville ”stukket ut” fra de andre målingene. Det er funnet to målinger som skiller seg ut fra de andre. Den høyre målingen fra 14.03 øving nr 2 for forsøksperson D er ca. 5 dB høyere enn den venstre. Det er ikke notert så store forskjeller mellom høyre og venstre på noen av de andre forsøkspersonene, og det er tenkelig at feil gaininnstilling ble valgt for denne målingen. Det er mulig mikrofonen på høyre øre ble satt inn i feil inngang på opptakeren (Edirol R44 har fire innganger, men bare to av dem ble brukt). Det er derfor notert en usikkerhet rundt denne målingen. Også målingen for øving 11.03 venstre skiller seg ut. Målingen er vesentlig mye lavere enn alle andre målinger, og det er mulig at også denne ble gjort med feil gaininnstilling.



Graf 6.11. Ekvivalentnivå fra øvinger, preproduksjoner og konserter, forsøksperson D

6.2.3.2 Ørevoks

En overraskende feilkilde ble notert tidlig i undersøkelsen. Ørevoks fra flere forsøkspersoner tettet inngangen til både høyttaler og mikrofontuben ved flere anledninger. Som oftest ble dette oppdaget av forsøkspersonen selv, eller under kalibrering. Ørevoks ble fjernet fra proppene ved flere anledninger. En tetning ved høyttaler eller mikrofon vil gi et lavere lydnivå enn det som forekom i virkeligheten.

6.2.3.3 Varierende spenning fra batteri og krets

Varierende spenning fra batteri og krets ble sett på som en mulig feilkilde under måleperioden. Undersøkelser av kalibreringer gjort tidlig og sent i måleperioden viste at sensitiviteten til mikrofonene ikke hadde endret seg i nevneverdig grad, selv når batteriet i spenningsdeleren ikke hadde blitt byttet. For sikkerhets skyld ble batteriet likevel byttet ut med ett nytt batteri mellom flere av målingene.

6.2.3.4 Konvertering fra øret, til diffust felt utenfor øret - ISO 11904

Standarden the International Organization for Standardization 2002 – ISO 11904 spesifiserer at konverteringen fra lydtrykk i øret til diffust felt utenfor øret skal gjøres fra lydtrykk i *øregangen*, og ikke fra lydtrykk ved *trommehinnen*. Frekvenskalibreringen gjort i seksjon (4.2.2) estimerer lydnivået ved trommehinnen. Konverteringen med ISO 11904 blir dermed feil, da denne tar høyde for at lydnivået er målt i øregangen. Selv om denne feilen vil påvirke resultatene, er det sannsynligvis ikke av stor betydning for de endelige A-vektede ekvivalentnivåene (Tronstad 2022).

6.3 Begrensninger

6.3.1 For lite utvalg

Studien skulle helst hatt et større utvalg. Kun fire forsøkspersoner er undersøkt i denne undersøkelsen. Derfor er det vanskelig å relatere resultatene i denne undersøkelsen til musikere generelt. Likevel gir undersøkelsen sterke indikasjoner på hvordan musikere kan bruke IEMs. For å være sikrere på hvordan musikere bruker IEMs og om hørselen og om denne bruken er trygg, bør det gjennomføres en større undersøkelse, med mer ressurser enn det denne undersøkelsen hadde.

Kapittel 7

Konklusjon

Det A-vektede ekvivalentnivået målt i ørene på fire musikere, har blitt målt og konvertert til A-vektet diffust felt ekvivalentnivå tilsvarende om lyden var i rommet utenfor ørene til musikerne. Målinger på de fire forsøkspersonene er blitt gjort ved øvinger, preproduksjoner, lydprøver og konserter. Den tilhørende støydosen i henhold til arbeidsmiljøloven for hver forsøksperson per måling, er blitt kalkulert, og dermed sammenlignet med grenseverdien definert av arbeidsmiljøloven.

Det var markante forskjeller både på tvers av spillesituasjon, og på tvers av forsøkspersonene. Flere bekymringsverdige ekvivalentnivå og tilsvarende potensielt skadelige doseverdier ble funnet hos forsøkspersonene A, B, og C. Alle målinger hos forsøksperson D var innenfor grenseverdiene satt av arbeidsmiljøloven, og dermed sannsynligvis ikke skadelige. Alle forsøkspersonene hadde høyest lydnivå målt på konsertene, kontra øving og preproduksjon. Det kan være flere grunner til disse forskjellene. På konsert introduseres flere nye lydilder, musikerne spiller generelt litt høyere, det er større risiko involvert, adrenalin, og flere av forsøkspersonene skrudde også lyttingen sin i IEM opp under konsert.

Hvorfor forsøkspersonene A, B og C ble utsatt for skadelige støydoser, mens forsøksperson D ikke ble, er det viktigste spørsmålet vedrørende denne undersøkelsen. Siden forsøkspersonene hadde såpass ulike ekvivalentnivå, er det tydelig at det er lydnivået på lyttingen som musikerne selv har satt, som er hovedkilden til de høye lydnivåene. Man kan dermed peke på at det er *lytteevanene* til musikerne selv, som bestemmer hvor mye lyd de blir utsatt for i spillesituasjoner. Det blir dermed interessant å prøve å forstå hvorfor lytteevanene til forsøksperson D gir såpass mye lavere lydnivåer enn resten av forsøkspersonene. Litt av forklaringen kan ligge i ulike krav til signal-støyforhold når man spiller. Det er mulig forsøksperson D er vant til og aksepterer ett dårligere signal-støyforhold enn det de andre musikerne gjør. Her er det viktig å legge vekt på at dette er en *vane*. Med øving er det mulig forsøkspersonene A, B og C også kan skru ned lyttingen sin tilsvarende det forsøksperson D gjorde, og dermed få et dårligere signal-støyforhold, men likevel høre nok til at de klarer prestere. Alle forsøkspersonene unntatt forsøksperson B trodde også at de kunne ha lyttingen sin lavere enn det de hadde hatt, og fortsatt prestere på sitt beste. Hvis det var mulig å ha lyttingen lavere, hvorfor gjorde ikke musikerne dette da? En forklaring kan være at et godt signal-støyforhold og dermed god lytting gir en viss trygghet på scenen. Denne tryggheten kan veie tungt i eksemplvis en konsertsetting hvor musikerne kjenner på risiko, adrenalin og ett ønske om å prestere på sitt ytterste. Det er også godt mulig at forsøkspersonene A, B og C rett og slett ikke var bevisste på lydnivåene de hadde i lyttingen. I intervju skilte forsøksperson D seg merkbart ut i forhold til de andre forsøkspersonene ved spørsmål om hans personlige lytting. Mens forsøkspersonene A, B og C ville ha litt av alt i sin lytting, fokuserte forsøksperson D på å fjerne så mange lydilder som mulig i sin lytting, og kun ha de mest essensielle instrumentene i lyttingen. Dette viser at forsøksperson D nok er mer bevisst på lydnivåene fra lyttingen, og at han også prøver å skape et bedre signal-støyforhold ved å redusere lydilder som er unødvendige i lyttingen. En slik fjerning av unødvendige lydilder i lyttingen kan være en god strategi for å begrense lydnivåene i lyttingen.

Lydnivåene musikerne blir utsatt for når de bruker IEMs kan begrenses, og den mest effektive metoden for å gjøre dette, er å instruere musikerne til å skru lyttingen i IEMene ned. Hvor lavt mu-

sikerne kan skru ned IEMene uten at det går ut over prestasjon er avhengig av signalstøyforholdet på scenen. Økning av den passive dempningen i IEMene og en begrensning av det generelle lydnivået på scenen vil begge bedre signalstøyforholdet, og dermed gi musikerne større mulighet til å skru ned lyttingen i IEM. I intervju nevnte alle fire forsøkspersonene ønsket seg mer passiv dempning fra IEMene enn det IEMene brukt i denne undersøkelsen gav. Denne undersøkelsen brukte formstøpte IEMer laget av akryl, noe som ofte gir dårligere dempning enn myke IEMer laget av silikon. Alle fire forsøkspersonene har gått over til å bruke myke IEMer av silikon etter denne undersøkelsen ble gjennomført. Samtidig er det viktig å nevne at for mye dempning i IEMene også er uønsket, da dette kan isolere musikerne for mye fra omverdenen – noe forsøksperson A også nevner i intervju.

I intervju nevnte forsøksperson A ett ønske om å kunne se hvor høy lyd han har i ørene, mens han har lydprøve. Slik kunne han tilpasse lyttenivået på lydprøve og vite hvor høyt han faktisk hadde det, for å unngå for høye nivåer på konsert. Denne muligheten nevner også Santucci i sin artikkel om IEMer (Santucci 2009). Per nå har musikere ingen måte å vite om lyttenivåene de har satt i IEMene er ok. Et slikt tillegg på IEMene hadde gjort det mye enklere for musikerne å beskytte hørselen sin, og er fullt mulig å utvikle. Det er i praksis den samme teknikken (MIRE) som er brukt i denne undersøkelsen.

Et ønskesenario for ”trygge” forhold på scenen kan beskrives. Musikerne bruker IEMer med akkurat passe passiv dempning – ikke for mye og ikke for lite. IEMene er utstyrt med mikrofoner som måler lydnivåene på innsiden av øregangene til musikerne, slik at de kan skru et sunt lyttenivå på lydprøve før konserten. Lydkildene på scenen er begrenset, gitaristene bruker amp-simulatorer, trommeslager bruker elektrisk trommesett. PA er plassert ett godt stykke fra musikerne, slik at lydtrykket fra PA til musikerne er begrenset. Spillestedet har gode akustiske kvaliteter, og er utstyrt med kalibrerte målemikrofoner som forteller lydtekniker hvor høyt det spilles i lokalet. Lydtekniker følger retningslinjene for lydnivåer under konsert. Alle disse faktorene bidrar til at sannsynligheten for hørselsskader hos musikerne begrenses.

Det er flere usikkerheter blant målingene, slik som kan forventes av feltmålinger. De fleste av disse usikkerhetene gir likevel grunn til å tro at de virkelige ekvivalentnivåene var enten like eller høyere enn de målte ekvivalentnivåene presentert i denne oppgaven. Undersøkelsen er også basert på et lite utvalg, kun fire forsøkspersoner, noe som svekker generaliserbarheten til undersøkelsen. Flere målinger på hver forsøksperson ble gjort for å bedre generaliserbarheten til undersøkelsen.

Selv om man kan diskutere nøyaktigheten av målingene gjort i denne oppgaven, er likevel de relative forskjellene mellom målingene på tvers av spillesituasjon og forsøkspersonene mulig å anse som legitime. Det er derfor mulig å trekke slutninger om at det var stor forskjeller innad mellom forsøkspersonene, og mellom spillesituasjonene. Dette indikerer at hvordan musikerne bruker IEMene er av stor betydning for lydnivåene de utsettes. Flere av målingene viste såpass høye doseverdier, at målingene måtte vært svært unøyaktige for at lydnivåene ikke skulle vært skadelige. I intervju mente også alle 4 forsøkspersonene at de trodde at lydnivåene målt i ørene deres under ulike spillesituasjoner kunne være skadelige. 3 av 4 hadde også opplevd ringing i ørene (tinnitus) etter konsert. Dette støtter opp under funnene i undersøkelsen – flere av lydnivåene målt var potensielt skadelige.

Studien viser at IEMene kan både beskytte og skade hørselen til musikerne, og trekker dermed samme konklusjon som Santucci 2009. Hvordan IEMene brukes er av stor betydning for lydnivåene musikerne blir utsatt for. Flere studier må gjennomføres før man kan si mer om hvor utsatte musikere generelt er når de bruker IEMer, men resultatene i denne studien viser at det er mulig IEMene ikke er en særlig god beskytter av musikernes hørsel, og at musikerne må instrueres i bruken av IEMer før de kan nytte god beskyttelse fra IEMene.

Kapittel 8

Videre arbeid

Flere undersøkelser må gjennomføres for å kunne si mer om hvor store lydnivåer musikere generelt blir utsatt for når de bruker IEMer, og årsakssammenhengen mellom hørselsproblemene musikere har i dag og bruken av IEMer. Resultatene i denne undersøkelsen viser at IEMene kan både beskytte og skade hørselen til musikerne, og at dette styres i stor grad av hvordan hørselsvernet brukes. På grunn av de til tider høye doseverdiene funnet i denne oppgaven hos musikerne er det mulig å argumentere for at IEMene kan være en av årsakene til hørselsproblemene mange musikere har i dag. Hvis en ønsker å forstå mer om årsakene bak hørselsproblematikken forbundet med profesjonelle musikere, kan videre studier på bruken av IEMer blant musikere være informativt og nyttig.

Hvis lignende undersøkelser på bruken av IEMer hos musikere skal gjennomføres, er det viktig å måle lydnivåene musikerne opplever på konsert, da resultatene fra denne undersøkelsen viser at det er her de største lydnivåene oppleves. Det kan være fristende å unngå å gjøre målinger på konsert, da dette er en ”i feltet” situasjon med større usikkerhet, og inkluderer et ”live publikum” og større risiko. En feil her kan i verste fall lede til en mislykket konsert. Konserten er likevel en situasjon som egner seg dårlig til gjenskapning i et laboratorium, fordi den inneholder flere elementer som det er vanskelig å simulere. Adrenalin, risikoen og ønsket om å prestere på sitt beste kan gjøre at musikerne skrur lyttenivåene på IEMene vesentlig høyere på konsert enn det de ville gjort i en lignende situasjon uten publikum og risiko.

Referanser

1. 64-Audio (2022). *A2e*. URL: <https://www.64audio.com/collections/custom-iems/products/a2e> (visited on 5th Dec. 2022).
2. ACS (2022). *Evoke2 Classic In-Ear Monitor*. URL: <https://www.acscustom.com/uk/products/in-ear-monitors/classic-series/> (visited on 5th Dec. 2022).
3. Arbeidstilsynet (2022). *Støy*. URL: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/stoy/> (visited on 15th Nov. 2022).
4. Boulanger, Richard (2000). *The Csound Book: Perspectives in Software Synthesis, Sound Design, Signal Processing, and Programming*. MIT Press, pp. 400–404.
5. Brüel and Kjær (2022). *Product Data Probe Microphone — Type 4182*. URL: <https://www.bksv.com/-/media/literature/Product-Data/bp0659.ashx> (visited on 24th Nov. 2022).
6. Fenderman, J. and T. Ricketts (2008). ‘Preferred and Minimum Acceptable Listening Levels for Musicians While Using Floor and In-Ear Monitors’. In: *Journal of speech, language, and hearing research* 51, pp. 147–159.
7. Forskrift om støy på arbeidsplassen (1982). *Forskrift om støy på arbeidsplassen (FOR-1982-09-10-1376)*. URL: https://lovdata.no/dokument/SFO/forskrift/1982-09-10-1376/KAPITTEL_6.
8. Frøslie, K. F. (2022). *histogram*. URL: <https://snl.no/histogram> (visited on 24th Nov. 2022).
9. G.R.A.S (2022). *GRAS RA0401 Externally Polarized High-Frequency Ear Simulator*. URL: https://www.grasacoustics.com/products/ear-simulator/product/ss_export/pdf2?product_id=783 (visited on 24th Nov. 2022).
10. Gracey & Associates (2022). *Acoustic Glossary - Noise Dose Terms and Definitions*. URL: <https://www.acoustic-glossary.co.uk/noise-dose.html> (visited on 15th Nov. 2022).
11. Grønmo, S. (2022). *Kvalitativ metode*. URL: https://snl.no/kvalitativ_metode (visited on 5th Dec. 2022).
12. Helsedirektoratet (2022). *Musikkanlegg og helse – Veileder til arrangører og kommuner*. URL: [https://www.helsedirektoratet.no/veiledere/musikkanlegg-og-helse/Musikkanlegg%5C%20og%5C%20helse%5C%20%E2%80%93%5C%20Veileder%5C%20til%5C%20arrang%C3%B8rer%5C%20og%5C%20kommuner%5C%20\(fullversjon\).pdf/_/attachment/inline/206f4fbb-e15e-47ba-9859-372091a493c1:4a65e6657fce58f566b918fdd5ddcf524b2be4ca/Musikkanlegg%5C%20og%5C%20helse%5C%20%E2%80%93%5C%20Veileder%5C%20til%5C%20arrang%C3%B8rer%5C%20og%5C%20kommuner%5C%20\(fullversjon\).pdf](https://www.helsedirektoratet.no/veiledere/musikkanlegg-og-helse/Musikkanlegg%5C%20og%5C%20helse%5C%20%E2%80%93%5C%20Veileder%5C%20til%5C%20arrang%C3%B8rer%5C%20og%5C%20kommuner%5C%20(fullversjon).pdf/_/attachment/inline/206f4fbb-e15e-47ba-9859-372091a493c1:4a65e6657fce58f566b918fdd5ddcf524b2be4ca/Musikkanlegg%5C%20og%5C%20helse%5C%20%E2%80%93%5C%20Veileder%5C%20til%5C%20arrang%C3%B8rer%5C%20og%5C%20kommuner%5C%20(fullversjon).pdf) (visited on 26th Nov. 2022).
13. Kähäri, K. et al. (2003). ‘Assessment of hearing and hearing disorders in rock/jazz musicians.’ in: *International Journal of Audiology* 42, pp. 279–288.
14. Knowles electronics (2006). *EK-23028-C36*.
15. Matlab (2022a). *Amplitude Estimation and Zero Padding*. URL: <https://se.mathworks.com/help/signal/ug/amplitude-estimation-and-zero-padding.html> (visited on 5th Dec. 2022).

-
16. Matlab (2022b). *Fast Fourier transform*. URL: <https://se.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html> (visited on 5th Dec. 2022).
 17. Occupational Safety and Health Standards (2001). *Noise Exposure Computation*. (OSHA Standard nr. 1910.95 App A). URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.95AppA>.
 18. Ringdal, K. (2018). *Enhet og mangfold*. Fagbokforlaget, pp. 137–138.
 19. Rossing, T. D., F. R. Moore and P. A. Wheeler (2001). *The Science of Sound*. Pearson, p. 525.
 20. Santucci, M. (2009). ‘Protecting Musicians from Hearing Damage: A Review of Evidence-based Research’. In: *Medical Problems of Performing Artists* 24, pp. 103–107.
 21. Sensaphonics (2022). *D2 CUSTOM-FIT EARPHONES*. URL: <https://www.sensaphonics.com/products/d2iems> (visited on 5th Dec. 2022).
 22. Smith, S. W. (1997). *The Scientist and Engineer’s Guide to Digital Signal Processing*. MIT Press, pp. 177–180.
 23. Steder, F. B. and Ø. A. Voie (2021). ‘Arbeidsmiljø og helseprofil hos musikere – en spørreundersøkelse blant profesjonelle militære og sivile musikkorkestre i Norge’. In: URL: <https://ffi-publikasjoner.archive.knowledgearc.net/bitstream/handle/20.500.12242/2896/21-00854.pdf>.
 24. Størmer, C. C. L. et al. (2015). ‘Hearing loss and tinnitus in rock musicians: A Norwegian survey’. In: *Noise Health* 17, pp. 411–422.
 25. The International Electrotechnical Commission (2013). *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*. (IEC Standard nr. 61672-1:2013). URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=658472>.
 26. the International Organization for Standardization (1990). *Acoustics - Determination of noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment*. (ISO 1999:1990(E)). URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/6759/c6176965ba7248bc89de32b8fbd520b5/ISO-1999-1990.pdf>.
 27. — (2002). *Akustikk Bestemmelse av lydimmisjon fra lydkilder nær øret Del 1: Teknikk der mikrofonen er plassert i øret (MIRE-teknikk)*. (ISO 11904-1:2002). URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=143570>.
 28. Tronstad, T. V. (2022). *Muntlig samtale*. (Visited on 29th Nov. 2022).
 29. Ultimate Ears (2022). *UE PRO*. URL: <https://custom.ultimateears.com/pages/ue-pro-iems> (visited on 5th Dec. 2022).

Appendix

A Tabeller

A.1 A-vekting – NEK IEC 61672-1:2013

1/3 oktavbånd	A-vekting
63 Hz	-26,2 dB
80 Hz	-22,5 dB
100 Hz	-19,1 dB
125 Hz	-16,1 dB
160 Hz	-13,4 dB
200 Hz	-10,9 dB
250 Hz	-8,6 dB
315 Hz	-6,6 dB
400 Hz	-4,8 dB
500 Hz	-3,2 dB
630 Hz	-1,9 dB
800 Hz	-0,8 dB
1000 Hz	0 dB
1250 Hz	+0,6 dB
1600 Hz	+1,0 dB
2000 Hz	+1,2 dB
2500 Hz	+1,3 dB
3150 Hz	+1,2 dB
4000 Hz	+1,0 dB
5000 Hz	+0,5 dB
6300 Hz	-0,1 dB
8000 Hz	-1,1 dB
10000 Hz	-2,5 dB
12500 Hz	-4,3 dB
16000 Hz	-6,6 dB
20000 Hz	-9,3 dB

Tabell 1. A-vekting i henhold til NEK IEC 61672-1:2013, The International Electrotechnical Commission 2013

A.2 Lydtrykk ved trommehinnen til diffust felt – ISO 11904-1:2002

1/3 oktavbånd	$\Delta L_{df,i}$
<100	0,0
100	0,0
125	0,2
160	0,4
200	0,6
250	0,8
315	1,1
400	1,5
500	1,7
630	2,2
800	2,3
1000	2,3
1250	3,1
1600	3,8
2000	4,4
2500	5,9
3150	8,1
4000	10,3
5000	10,0
6300	7,3
8000	6,0
10000	3,8
12500	2,0
16000	-0,2

Tabell 2. Konvertering fra lydtrykk ved trommehinnen til diffust felt, (the International Organization for Standardization 2002)

A.3 Alle målinger øvinger

Øvinger	Forsøksperson	$L_{\{eq, A\}}$ [dBA]	Måleperiode	Dose [%]
Øving 11.03	A	92,8	02:44:44	206
	B	88,9	01:40:00	32
	C	90,7	02:05:18	98
	D	62,5	01:01:32	0
Øving 12.03 nr.1	A	92,7	00:23:38	29
	B	80,2	01:34:24	7
	C	94,7	01:24:44	163
	D	79,2	01:18:46	4
Øving 12.03 nr.2	A	92,3	01:23:10	93
	B	91,9	00:08:36	9
	C	90,3	00:35:16	25
	D	78,5	00:34:44	2
Øving 13.03	A	93,2	01:30:12	124
	B	89,3	00:39:56	22
	C	94,1	01:21:28	138
	D	NA	NA	NA
Øving 14.03 nr.1	A	NA	NA	NA
	B	NA	NA	NA
	C	92,6	01:28:46	106
	D	78,5	01:26:06	4
Øving 14.03 nr.2	A	NA	NA	NA
	B	NA	NA	NA
	C*	97,4	00:33:20	121
	D	82,7	00:31:14	4

Tabell 3. Alle verdier, øvinger, *negativ klipping

A.4 Alle målinger preproduksjoner og lydprøver

Produksjon og lydprøver	Forsøksperson	$L_{\{eq,A\}}$ [dBA]	Måleperiode	Dose [%]
Preproduksjon 15.03	A	NA	NA	NA
	B*	91,2	00:32:38	28
	C*	99,3	00:20:44	116
	D	79,2	00:29:02	2
Preproduksjon 16.03	A*	97,2	01:13:26	253
	B*	90,9	01:03:14	51
	C*	91,7	00:32:20	32
	D	81,6	00:47:12	5
Lydprøve 17.03	A	NA	NA	NA
	B	NA	NA	NA
	C	NA	NA	NA
	D	79,7	00:32:06	2
Lydprøve 19.03	A	NA	NA	NA
	B	NA	NA	NA
	C	NA	NA	NA
	D	80,8	00:34:10	3
Lydprøve 22.03	A	NA	NA	NA
	B	NA	NA	NA
	C	NA	NA	NA
	D	81,8	00:39:58	4
Lydprøve 24.03	A	NA	NA	NA
	B	NA	NA	NA
	C	NA	NA	NA
	D	82,7	00:24:04	3

Tabell 4. Alle verdier, preproduksjon og lydprøver, *negativ klipping

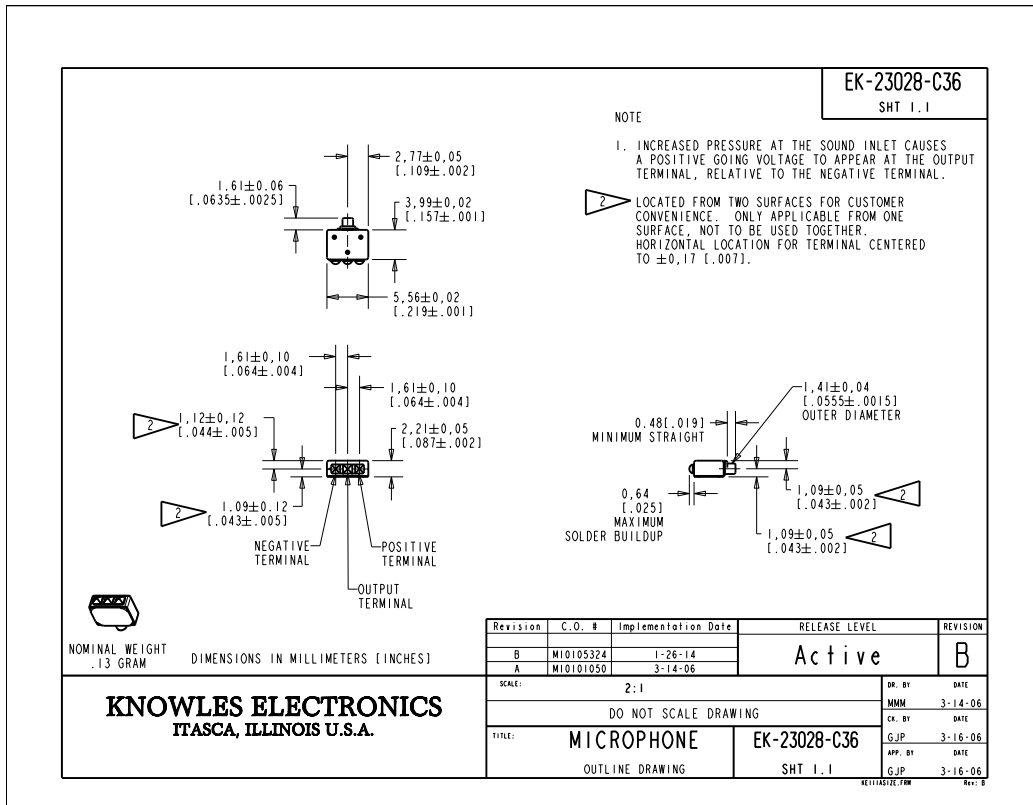
A.5 Alle målinger koncerter

Konserter	Forsøksperson	$L_{\{eq, A\}}$ [dBA]	Måleperiode	Dose [%]
Konsert 16.03	A	NA	NA	NA
	B*	100,1	01:10:00	473
	C*	103,2	01:07:16	931
	D	88,0	00:48:58	20
Konsert 17.03 nr. 1	A	NA	NA	NA
	B	NA	NA	NA
	C*	104,7	01:11:12	1388
	D	86,4	01:03:46	18
Konsert 17.03 nr. 2	A	NA	NA	NA
	B*	95,9	00:56:04	144
	C*	102,3	00:53:30	601
	D	85,0	00:45:40	9
Konsert 19.03	A	NA	NA	NA
	B	NA	NA	NA
	C	NA	NA	NA
	D	84,5	00:21:28	4
Konsert 22.03	A	NA	NA	NA
	B	NA	NA	NA
	C*	106,3	01:03:26	1765
	D	90,3	00:49:44	35
Konsert 24.03	A	NA	NA	NA
	B	NA	NA	NA
	C	NA	NA	NA
	D	86,0	00:53:26	14

Tabell 5. Alle verdier, koncerter, *negativ klipping

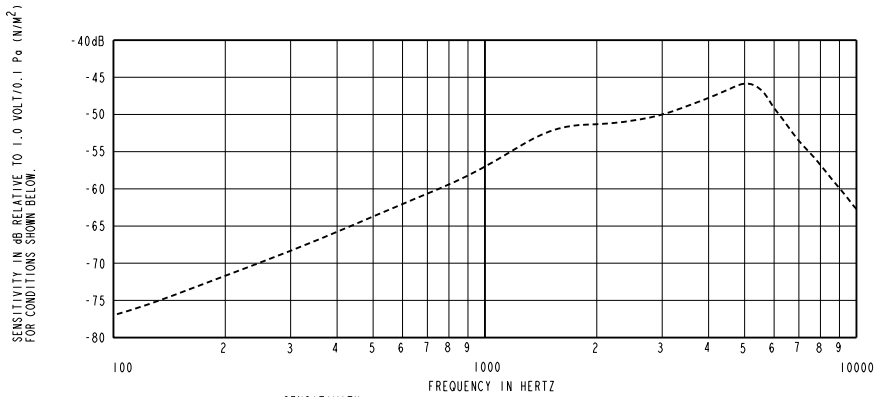
B Datablad

B.1 Datablad Knowles Electronics "EK-23028-C36"



Graf 1. Datablad side 1 Knowles Electronics "EK-23028-C36"

Source: Knowles electronics 2006



FREQUENCY	SENSITIVITY			DEVICE CONFORMITY	
	MIN.	NOM.	MAX.	RANGE OF DEVIATION FROM 1KHZ	
300	---	-68.0	---	-12.5	-9.5
1000	-60.0	-57.0	-54.0	0.0	0.0
4300-5700	---	-46.0	---	+6.0	+16.0

NOTES:

- CASE CONNECTED TO NEGATIVE TERMINAL.
- MICROPHONE TO BE FUNCTIONAL WITH 10 VDC SUPPLY.
- CONFORMS TO REQUIREMENTS SHOWN ON 'ELECTRET MICROPHONE ENVIRONMENTAL QUALIFICATIONS TEST, EK-PA SHEET 2.2' WITH REF. FREQ. OF 1000 Hz.
- TYPICAL SENSITIVITY TO HUMIDITY AT 1000 Hz IS 0.02 dB/%RH.
- SENSITIVITY AND NOISE VALUES INDICATED ON THIS SPECIFICATION ARE VALID AT 50% HUMIDITY.

PORT LOCATION	DC SUPPLY	AMPLIFIER CURRENT DRAIN	SENSITIVITY CHANGE ON REDUCING SUPPLY TO 0.9VDC	"A" WEIGHTED NOISE (RE 1.0 VOLT)	OUTPUT IMPEDANCE OHMS		
					MIN.	NOM.	MAX.
12S	1.3V	50 μ A MAX.	3 dB MAX.	-100.0 dB MAX.	2800	4400	6800

KNOWLES ELECTRONICS
ITASCA, ILLINOIS U.S.A.

Revision	C.O. #	Implementation Date	RELEASE LEVEL	REVISION
B	M10105324	1-26-14	Active	B
A	M10101050	3-14-06		
WHEN TEST LIMITS ARE USED TO ESTABLISH INCOMING INSPECTION ACCEPTANCE/REJECTION CRITERIA, CORRELATION OF TEST EQUIPMENT WITH KNOWLES IS ALSO REQUIRED FOR ELIMINATION OF EQUIPMENT AND TEST METHOD VARIATION				DR. BY DATE
TITLE: MICROPHONE PERFORMANCE SPECIFICATION				MMM 3-14-06
				CK. BY DATE
				GJP 3-16-06
EK-23028-C36			APP. BY DATE	
SHT 2.1			GJP 3-16-06	

Graf 2. Datablad side 2 Knowles Electronics "EK-23028-C36"

Source: Knowles electronics 2006

C Koder

Kode for fast fourier transformen brukt til å konvertere signalet vist i graf (matlab anbefaler bruken av "padding" for å optimalisere FFT): 3.3 og 3.4:

C.1 FFT kode

```
1 \UseRawInputEncoding
2
3 %% FFT_eksempel:
4
5 %Henter inn lydfil:
6 [x] = audioread('T FL - RAKETTER - MAIN MIX_HVENARE MASTER_24b.wav');
7 Fs = 44100;
8 p0=2e-5; %p0
9
10 % Finner hvor mange samples signalet inneholder:
11 % "x" er signalet i tidsdomenet:
12 antall_samples = length(x);
13
14 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
15 % Fourirer transform
16 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
17
18 % Optimaliserer FFT, med "padding", anbefalt av matlab i dokumentasjon av fft:
19 p = nextpow2(antall_samples);
20 n = 2^p;
21
22 % FFT.
23 % (*2 fordi signalet speiles, og halvparten av energien
24 % i signalet fordeles til speilingen):
25 X = (fft(x,n)/n)*2; %konverterer signalet til frekvensdomenet. signalet er enda i
    pascal
26
27 %lager en frekvensvektor, med like mange punkter som fften vil inneholde:
28 ff = Fs*(0:(n/2))/n;
29 ff = ff';
30
31 % konverterer signalet til desibel:
32 dB_fft = 20*log10((abs(X(1:(n/2)+1))./p0));
33 dB_fft = dB_fft';
34
35
36 %Lager graf av FFT (i pascal)
37
38 Lightgrey = [128 128 128]./255;
39
40 figure(5)
41 plot(ff,abs(X(1:(n/2)+1)),'Color', [Lightgrey])
42 set(gca,'XScale','log');
43 xlim([20 20000]);
44 ylim([0 0.03]);
45 set(gca,'fontsize',20, 'LineWidth', 1.5)
46 ylabel('Lydtrykk [Pascal]')
47 xlabel('Frekvens [Hz]')
48 title('FFT av WAVfil i pascal, frekvensdomenet')
49 ax = gca
50 ax.GridLineStyle = '-'
51 ax.GridColor = 'k'
52 ax.GridAlpha = 0.8
53 grid on
54
55 %Lager graf av FFT (i dB)
56 figure(6)
57 plot(ff,dB_fft,'Color', [Lightgrey])
58 set(gca,'XScale','log');
59 xlim([20 20000]);
60 ylim([-20 70]);
61 set(gca,'fontsize',20, 'LineWidth', 1.5)
62 ylabel('Lydtrykk [dB]')
63 xlabel('Frekvens [Hz]')
64 title('FFT av WAVfil i dB, frekvensdomenet')
65 ax = gca
66 ax.GridLineStyle = '-'
67 ax.GridColor = 'k'
68 ax.GridAlpha = 0.8
69 grid on
```

C.2 1/3oktavbånd kode

```
1 %Summering av oktavbånd:
2
3 %Definerer 1/3 octave bånd,
4 C_13octavebandsValue = [];
5 center      = [6.3  8  10 12.5  16  20  25 31.5  40  50  63  80 100 125
   160 200 250 315 400 500 630 800 1000 1250 1600 2000 2500 3150 4000 5000 6300
   8000 10000 12500 16000 20000];
6 lower       = [5.6 7.0  8.9 11.1 14.2 17.8 22.4 28.2 35.5 44.7 56.2 70.8 89.1 112
   141 178 224 282 355 447 562 708  891 1122 1413 1778 2239 2818 3548 4467 5623
   7079 8913  11220 14130 17780];
7 upper       = [7.0 8.9 11.1 14.2 17.8 22.4 28.2 35.5 44.7 56.2 70.8 89.1  112 141
   178 224 282 355 447 562 708 891 1122 1413 1778 2239 2818 3548 4467 5623 7079
   8913 11220 14130 17780 22390];
8
9 %Summerer hvert 1/3 octave bånd.
10 %Her brukes også funksjonen "sum_13octave" (se linjer 43 til 52), som konverterer
   pascalverdiene til dB:
11 for index=1:length(lower)
12     each_13octaveband_Value(index)=sum_13octave(lower(index),upper(index),ff,X);
13 end
14 Hvert_13_oktavbaand = each_13octaveband_Value(7:end); %Fjerner de laveste
   frekvensene, starter ved 63Hz.
15
16 %% frekvenser
17 f=      [22  31.5 40  50  63  80 100 125 160 200 250 315 400 500 630 800
   1000 1250 1600 2000 2500 3150 4000 5000 6300 8000 10000 12500 16000 20000];
18
19 %% Plot
20 figure(3)
21 semilogx(f,Hvert_13_oktavbaand, 'k-', 'Linewidth', 2)
22 xlim([20 16000])
23 ylim([50 80])
24 xticks([63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 16000])
25 xticklabels({'63','125','250','500','1k', '2k', '4k', '8k', '16k'})
26 %legend('Innsidemikk V', 'Sim V', 'frekvensresp EK-230828-C36 ', 'resonans hele
   ret ', 'Location', 'Southeast')
27 legend('5gain diff','10gain diff','30gain diff','45 gain diff','60 gain diff','70
   gain diff', 'Location', 'Southeast')
28 xlabel('Frekvens [Hz]')
29 ylabel('Differanse [dB re p_0]')
30 set(gca,'fontsize',20, 'LineWidth', 1.5)
31 set(gcf,'units','centimeters','position',[2,1,40,18])
32 title('1/3 Oktavbånd')
33 %annotation('textbox',[.35 .9 .1 .10],'String',' re simulator vs innside
   mikrofoner','EdgeColor','none', 'fontSize',25)
34 ax = gca
35 ax.GridLineStyle = '-'
36 ax.GridColor = 'k'
37 ax.GridAlpha = 0.8 % maximum line opacity
38 grid on
39 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
40
41 %Funksjon som summerer pascalverdiene fra FFT, innenfor gitte 1/3
42 %oktavbånd, og deretter konverterer dem til dB:
43 function output = sum_13octave(lower,upper,ff, Noise_rec_cal_fft)
44
45     Indx_Freq_low1 = find(ff < lower, 1, 'last');
46     Indx_Freq_up1  = find(ff < upper, 1, 'last');
47
48
49     output_dB = 20*log10((abs(Noise_rec_cal_fft(Indx_Freq_low1:Indx_Freq_up1)))/(20
   e-6));
50     output     = 10*log10(sum(10.^(output_dB/10)));
51 end
```

C.3 Hovedkode

```
1 %% Utregning av ekvivalentniv , og 1/3-oktavb nd , fra MIRE-m linger i ulike
    spillesituasjoner:
2
3 %%
4 clear;
5 clc;
6 close all;
7
8 %% Lyd inn her (WAV):
9 Fs= 44100; %samplerate
10 p0=2e-5; %p0, desibelreferanse
11
12 %%Kalibrering av resimulator
13 [KAL] = audioread('re_simulator_kalibrering_1.wav');
14
15 %%M linger inn:
16 % vinger :
17 [V_11_oving_1] = audioread('11.03_V_vingslokale_fors_ksperson_D.wav');
18
19 [V_12_oving_1] = audioread('12.03_V_innside_oving1_fors_ksperson_D.wav');
20 [H_12_oving_1] = audioread('12.03_H_innside_oving1_fors_ksperson_D.wav');
21
22 [V_12_oving_2] = audioread('12.03_V_innside_oving2_fors_ksperson_D.wav');
23 [H_12_oving_2] = audioread('12.03_H_innside_oving2_fors_ksperson_D.wav');
24
25 [V_14_oving_2] = audioread('14.03_V_inn_preprodrommet2_fors_ksperson_D.wav');
26 [H_14_oving_2] = audioread('14.03_H_inn_preprodrommet2t_fors_ksperson_D.wav');
27
28 [V_14_oving_3] = audioread('14.03_V_inn_preprodrommet3_fors_ksperson_D.wav');
29 [H_14_oving_3] = audioread('14.03_H_inn_preprodrommet3_fors_ksperson_D.wav');
30
31 %%preproduksjoner
32 [V_15_preprod] = audioread('15.03_V_inn_preprodrommet_fors_ksperson_D.wav');
33 [H_15_preprod] = audioread('15.03_H_inn_preprodrommet_fors_ksperson_D.wav');
34
35 [V_16_preprod] = audioread('16.03_V_inn_salt_lydpr ve_fors_ksperson_D.wav');
36 [H_16_preprod] = audioread('16.03_H_inn_salt_lydpr ve_fors_ksperson_D.wav');
37
38 %%konserter og lydpr ver
39 [V_16_konsert] = audioread('16.03_Venstre_fors_ksperson_D_konsert.wav');
40
41 [V_17_lydprov] = audioread('17.03_V_folken_lydpr ve_fors_ksperson_D.wav');
42 [H_17_lydprov] = audioread('17.03_H_folken_lydpr ve_fors_ksperson_D.wav');
43
44 [V_17_konsert_1] = audioread('17.03_V_folken_hovedkonsert_fors_ksperson_D.wav');
    ;
45 [H_17_konsert_1] = audioread('17.03_H_folken_hovedkonsert_fors_ksperson_D.wav');
    ;
46
47 [V_17_konsert_2] = audioread('17.03_V_folken_ufflakskonsert_fors_ksperson_D.wav
    ');
48 [H_17_konsert_2] = audioread('17.03_H_folken_ufflakskonsert_fors_ksperson_D.wav
    ');
49
50 [V_19_lydprov] = audioread('19.03_V_innside_lydpr ve_fors_ksperson_D.wav');
51 [H_19_lydprov] = audioread('19.03_H_innside_lydpr ve_fors_ksperson_D.wav');
52
53 [V_19_konsert] = audioread('19.03_V_innside_konsert_fors_ksperson_D.wav');
54 [H_19_konsert] = audioread('19.03_H_innside_konsert_fors_ksperson_D.wav');
55
56 [V_22_lydprov] = audioread('22.03_V_lydprov_fors_ksperson_D.wav');
57 [H_22_lydprov] = audioread('22.03_H_lydprov_fors_ksperson_D.wav');
58
59 [V_22_konsert] = audioread('22.03_fors_ksperson_D_V_innside_konsert_1.wav');
60 [H_22_konsert] = audioread('22.03_fors_ksperson_D_H_innside_konsert_1.wav');
61
62 [V_24_lydprov] = audioread('24.03_V_fors_ksperson_D_lydpr v_1.wav');
63 [H_24_lydprov] = audioread('24.03_H_fors_ksperson_D_lydpr v.wav');
64
65 [V_24_konsert] = audioread('24.04_fors_ksperson_D_V_innside_konsert_2.wav');
66 [H_24_konsert] = audioread('24.04_fors_ksperson_D_H_innside_konsert_2.wav');
```

```

67
68
69 %% Liste over kalibreringsfaktorer, "K", i 1/3oktavb nd
70 % utregnet fra rosa st y m ling fra IEM mik - simulator
71 % K = IEM mik - simulator
72
73 %fors ksperson D:
74 H_forsokspersonD_11_03 = [23.9320494358068, 21.5564137743555, 12.4849352448089,
    7.45345664191601, 5.23444867042378, 6.71856938264202, 4.43146631131140,
    11.0237254417280, 12.4394044484346, 10.5836052328412, 11.5956816113812,
    12.5659826220853, 12.8093924405516, 12.0934353561602, 10.5964724497351,
    9.33480791960164, 6.66237137850030, 4.12037874901120, 2.81561535691263,
    2.52140323772454, 3.42214735286716, 5.53886568769799, 5.71063725451149,
    4.44812282739450, 5.36955157046457, 6.80675369269217, 2.99459424759286,
    10.2636557731435, 5.93920139924036, 12.6267475758966];
75 V_forsokspersonD_11_03 = [21.1545079259183, 17.6660416148653, 8.32856301503728,
    1.20692803620516, 3.01397963714247, 3.51009406474876, -1.85216624759033,
    3.95814684666574, 4.78396035602850, 3.72059974854182, 4.06633202373124,
    6.72481096870138, 9.02173172169042, 10.6918063193826, 10.3102994709973,
    9.30861185964304, 6.60533190393960, 4.00677088207759, 2.41508267800262,
    1.95062455284848, 2.39158405324484, 3.66331630084983, 5.10129385469593,
    4.26004148253101, 4.07925118260931, 5.25328915931426, 7.47653204550657,
    9.28996413683024, 4.74399615632401, 6.50903610732327];
76
77 H_forsokspersonD_13_03 = [18.1400300926080, 16.0080371354004, 7.25020297325036,
    2.17086254789831, -0.352191741173641, 0.974299403309409, -1.19448182258348,
    3.89195357054153, 5.53544312722765, 4.11244764517454, 5.21535758896536,
    6.13263947099722, 6.38917092673855, 5.82332663538357, 4.36910902179412,
    3.06874750836379, 0.357531464370240, -2.11205121067468, -3.42565870607572,
    -3.74858698308960, -2.85848083924019, -0.660395410466933, -0.583262034523614,
    -1.77652345217159, -0.913245587148452, 0.552931946455423, -3.25583515977000,
    4.03165741229185, -0.335344829463956, 6.41195968404430];
78 V_forsokspersonD_13_03 = [14.9770953418216, 12.3523313781659, 3.58580294586992,
    -1.33563117558302, -0.865140436951421, 0.546488762943085, 0.112843492710269,
    3.65073472412296, 2.43488705886719, -0.417054637799964, -1.29478483563391,
    0.649153097106201, 2.99557576749104, 4.53059987599720, 4.13119963963756,
    3.12410460504144, 0.418302230745766, -2.22851225401506, -3.77840406777847,
    -4.24273006573998, -3.84255655797979, -2.57269155199778, -1.19400090395671,
    -2.08850421898151, -2.28117985525383, -1.19193576140103, 0.787077894090757,
    2.34327195806213, -0.654446164419539, -0.619083535545151];
79
80 H_forsokspersonD_alt_aent = [30.1315839784239, 27.8972742637252, 20.2763027532676,
    14.9149851849647, 11.7521987616436, 14.3225688148338, 11.7719245616161,
    16.8435040007932, 18.4072165861047, 17.0752964717866, 17.9302063929664,
    18.5964220669873, 18.8878172903159, 18.2518448420055, 16.7258906715942,
    15.3912163428563, 12.6865521389394, 10.2033854244836, 8.88771725354887,
    8.58965630080428, 9.47648741032828, 11.6615899368170, 11.7505474635318,
    10.5523744381615, 11.4142609723888, 12.9236290123911, 9.08859612968893,
    16.3924932878088, 12.0598844135074, 18.7726275049565];
81 V_forsokspersonD_alt_aent = [26.9644366111947, 25.5486883841031, 16.4347966762266,
    11.3176905017931, 11.8450173120403, 12.0450012387813, 7.31174033726542,
    11.3772440366251, 12.0104475640393, 10.5129511572214, 10.6280287946201,
    12.8731833766758, 15.3494380003876, 16.9525718748457, 16.5648013756388,
    15.5295859895921, 12.8620506388843, 10.2380778762104, 8.66685943925702,
    8.21627644582544, 8.61986641393543, 9.90817623580075, 11.3579566492251,
    10.6401680714554, 10.4566777477700, 11.6270226034053, 13.8414108834474,
    15.6664420686694, 10.7609534031318, 13.3560205561782];
82
83 %fors ksperson C:
84 H_forsokspersonC_5gain = [30.9485558905638, 28.5560527784843, 19.4875579832386,
    16.5848646263430, 14.2997957204466, 15.3484788118869, 13.4366187436714,
    16.2312941574716, 16.2938078341254, 16.9398129276845, 18.0024781320331,
    20.7804318226882, 23.1792985506721, 24.1625366396820, 22.8897827720570,
    21.4090260260226, 17.9556177460807, 14.5815652126931, 12.8728074289729,
    12.4989720197421, 13.2025560551456, 14.6616781326073, 17.6032584255051,
    17.9472854684712, 15.9175240829249, 14.8756193799255, 14.0158508753500,
    22.2925516001872, 19.2639520983953, 17.0530814958920];
85 V_forsokspersonC_5gain = [36.1509441802081, 31.9738592902293, 22.2637701307365,
    11.3885385401789, 15.6559388768968, 17.2185602805529, 6.47749534374175,
    16.5154794107833, 17.8684277386097, 14.0316933149606, 14.7339568576115,
    16.8779063286031, 19.2350848496621, 20.9824462600346, 20.5826889260283,
    19.5505279453352, 16.4997082006312, 13.8230266065655, 12.4666344307315,
    11.9253410735653, 12.2237163685537, 13.1963802335803, 17.6932387540112,

```



```

22.5315718755410, 19.7051334754580, 17.0560299122416, 20.5403897557457,
28.7345675787429, 30.5262236460251, 22.7041607395720];
86
87 H_forsokspersonC_30gain = [28.8015332618199, 25.6933982636195, 16.5517332744331,
3.25256329242063, 10.2219940439566, 10.6492110644890, 4.22667296343318,
11.1855265432189, 11.9497823922241, 11.0226803449659, 12.4228325472919,
15.4189801999555, 17.7993673670522, 18.7867513384572, 17.4499820196298,
16.1560999751140, 13.1638553930658, 10.3033610195360, 8.81446403340358,
8.36307643016039, 9.02726159812993, 10.4889226604895, 13.4147579008901,
13.4295499346427, 11.4662704099940, 10.2617769370541, 10.4641989175873,
17.7493865420407, 14.5714386577732, 12.2491540534269];
88 V_forsokspersonC_30gain = [33.2515206901060, 29.3939773416138, 21.5408052166243,
6.17892518540409, 13.0751389316680, 15.9870459928683, 8.38766323889022,
17.1348775789766, 15.8848670620480, 11.6911450449590, 13.3334494566945,
15.2182923748359, 17.3486051711382, 19.0342755067383, 18.6855739500914,
17.5719959171025, 14.5842689194796, 11.8824246420099, 10.4056484481171,
9.90825066038019, 10.1376102631791, 11.0481374691095, 15.5102008958985,
20.5924480755264, 17.8751425905187, 15.2010163896850, 18.1566806175675,
26.3072701937045, 28.9010916777508, 21.4064632136549];
89
90 H_forsokspersonC_45gain = [24.3534763913313, 23.2997894919302, 13.8179409301263,
2.19022717880965, 8.69106209414263, 9.70733461062724, 5.14861131761592,
11.1319364681107, 11.0236462281758, 9.17340101354212, 9.97840861494476,
12.7522792285695, 15.1467776707616, 16.2579619775748, 15.1271006683450,
13.7222801773717, 10.7066554888135, 7.79181572448790, 6.22117828454027,
5.81479337811142, 6.51328516333847, 7.96517787759638, 10.8896583891386,
10.7639762423757, 8.89667735502444, 7.75451065090284, 7.59583102882661,
15.6193049362145, 11.8539107975930, 9.74101039220963];
91 V_forsokspersonC_45gain = [31.9665905716259, 28.5856964160477, 20.4003188700673,
0.336503306600839, 15.7231296095642, 16.1807027071936, 5.71021489470673,
17.0476322897354, 15.5843847997450, 9.69040033019123, 12.3481748741963,
11.2309428090684, 11.8121908408125, 11.9935504751285, 10.8042169810817,
9.32420385438053, 6.54114446742679, 4.40112042876132, 3.80591135501039,
4.35173900002461, 6.07480893373678, 9.02278049527438, 11.6541619157387,
10.5038797673952, 8.35922568897452, 7.26613844338129, 16.1730052515887,
22.0229244074079, 19.1416032256801, 1.40350112389035];
92
93 H_forsokspersonC_70gain = [20.0715657845613, 19.5903073232176, 10.1584735388204,
-2.75711802842274, 2.47833511043844, 3.48257670024491, -2.97092358633437,
4.11306490596166, 6.04806759237427, 3.85709880061144, 3.57384315531868,
5.49933398654432, 7.71243830041499, 9.06240322953936, 7.99911889479390,
6.66315773303607, 3.64988398430941, 0.755062684249950, -0.851783693614593,
-1.22463526481546, -0.518027161032407, 0.860444895827854, 3.81667730469265,
3.76006175143707, 1.84048792886375, 0.695300775279392, 0.760540356676188,
8.46022605752426, 4.86312009183455, 2.75326625486955];
94 V_forsokspersonC_70gain = [27.2523670349468, 24.0641093028989, 15.4944113583928,
-2.96946513137008, 5.00750312058749, 6.66981595986820, -7.29473338843640,
5.58983850696156, 5.86392097409593, -0.209101680308336, 0.705969168346691,
1.80655189533103, 2.70814744085818, 3.95758476062944, 3.77988352624589,
2.73841882006183, -0.192478807883703, -2.78538443474355, -4.22675848859450,
-4.62944052332131, -4.23270834740801, -3.02989247687077, 1.57306654562739,
5.22216161842849, 2.04350557646812, 0.221697947925172, 4.64313128922613,
13.2482894390731, 14.1574850993914, 9.50866241510714];
95
96 H_forsokspersonC_80gain = [14.1394910739098, 11.4554023549037, 1.12241026189217,
-6.30524393999993, -5.10913308034982, -4.06724287425941, -6.88916438040820,
-0.452977856818251, 2.24816794724523, 1.79161807639052, -0.587629741090453,
0.431300344908330, 2.41976715242480, 2.82391963543373, 1.27937658120277,
-0.187330298182729, -3.14285431639303, -6.01595392354456, -7.57366780033918,
-7.94354930362317, -7.20014141232608, -5.73136090370836, -3.07378514037237,
-3.31574560690254, -5.10868429571886, -6.14219840304224, -6.46532943662209,
1.40830903538782, -2.20261646540060, -4.27629401084772];
97 V_forsokspersonC_80gain = [21.9062114260155, 17.2707193528994, 6.75408069234658,
-4.19724481963708, 5.02394861159371, 5.06007186599259, -3.41220748602174,
3.84905284622504, 1.49849263070250, -2.22641994512657, -1.79405284559115,
0.109936602104803, 0.105030510107461, 1.82348082654777, 1.72902299987166,
0.657098631805134, -2.27292526062990, -4.99446075846240, -6.51778773084926,
-6.98303428965836, -6.70863617413839, -5.83221175961170, -1.08304192234858,
3.96379885738760, 0.911464789383700, -1.60374976495582, 2.83772553059091,
8.84096977415066, 12.0050208440924, 5.16128793723343];
98
99 %fors ksperson B:
100 V_forsokspersonB_5gain = [32.5918315313353, 29.0276597454782, 20.7910888621554,

```

```

16.3519537027927, 13.5884257959733, 14.7908449981320, 8.96100272450855,
13.4242439765708, 14.7491154387922, 12.0522522449828, 10.4699699184026,
12.2826786202357, 15.0120719721060, 18.5440777665787, 21.2183911211472,
21.8966159674640, 19.6217537200699, 16.8393086393803, 15.1727196056642,
14.6404384259611, 15.0353844547778, 16.2783538658417, 18.0375081330791,
19.7764126149969, 18.5195325302115, 18.4247509835653, 18.1616903607524,
27.7157285517926, 31.0347178297280, 33.7565031064032];
101 V_forsokspersonB_10gain = [31.2281811276703, 29.4055718321548, 19.3942660390876,
5.56463351978712, 12.0878832737917, 13.8999147232579, 0.316364255431324,
13.4459444549938, 13.3177362358274, 9.66109696978337, 9.22693861501714,
10.9889997013315, 13.3788628977344, 16.9707216913810, 19.6155153364577,
20.4738828119722, 18.1705456130929, 15.4178429625645, 13.7410715475013,
13.2055294568376, 13.5912793552155, 14.8557068724869, 16.6091166490703,
18.3400528542095, 17.0945792675021, 17.0006537374242, 16.4339377161503,
25.6578117147442, 25.5118192502194, 24.9862921182641];
102 V_forsokspersonB_30gain = [25.0346012828386, 22.3377449227031, 13.5727013017351,
10.1299991403916, 6.68046320949556, 7.56915931917783, 1.61384591684823,
7.46156737303414, 8.03716415270257, 4.86334381565554, 3.07797216138221,
5.13169149492187, 7.86735606703552, 11.1854884096549, 13.9283026159227,
14.6833058241563, 12.3405004857939, 9.58676768017916, 7.91447332027254,
7.36955233588596, 7.77500442825547, 9.07647556242148, 10.7947781762094,
12.3751707987927, 11.1379929201397, 11.1013400619189, 10.9321547431496,
20.0939969703084, 23.4691313804634, 26.7220439598854];
103 V_forsokspersonB_45gain = [20.5341931076638, 19.4949159870424, 9.33383338465657,
4.74236844305064, 2.33465114083483, 3.39390232178448, -3.21581367153172,
2.77899816333062, 3.56336042185590, 0.282942947904097, -1.03468391013509,
0.789329579057565, 3.32745078523992, 6.63981785049380, 9.40176205227223,
10.0945426954506, 7.86977534178925, 5.11679930316592, 3.40879030103193,
2.87752051052873, 3.28524883333351, 4.58646366584974, 6.31842285946313,
7.88577166735936, 6.64513855799743, 6.60760839713710, 6.50125436723364,
15.8205583910822, 19.0985378497472, 22.4044335652669];
104 V_forsokspersonB_60gain = [18.1384422631074, 15.3378423171818, 5.69115673328894,
-3.16076477916872, 0.741679456304397, 2.34109858851502, -3.52220911932771,
-0.330623612635321, 0.00803818418877711, -2.43453080089138, -4.62596742721649,
-3.29601607130186, -0.960613915657810, 2.43379533519583, 5.09796339846722,
5.80598112655426, 3.51317882056865, 0.759686238290470, -0.947893712543163,
-1.46487137374852, -1.05061046378592, 0.286710978576110, 1.99781078766528,
3.44133726234900, 2.20290993227970, 2.22717863611044, 2.19550924462354,
11.3674893925219, 14.2859506003156, 17.0025927076548];
105 V_forsokspersonB_70gain = [16.1531321537383, 13.4776600661086, 3.10502917485397,
-3.59772901836964, -1.96889679350926, 0.152800303667810, -2.69557385295303,
-1.56515468190796, -1.72306020300807, -5.47183762732538, -6.64368769790928,
-5.83975498757452, -3.93499266178340, -0.741114338840525, 1.85542145308471,
2.58648789001965, 0.274848654674244, -2.45796677484863, -4.14349731503572,
-4.66798104091423, -4.24965566354689, -2.88316865619754, -1.19622944965889,
0.165495242404702, -1.06141739234717, -0.987053122708105, -1.04810512354970,
7.77629366287084, 9.75674538348008, 10.9912416228762];
106
107 %fors ksperson A:
108 H_forsokspersonA_5gain = [29.8790402228754, 27.2961030999474, 18.6689541338518,
12.7595458272840, 7.80637011493815, 12.6626624685146, 7.62752711691750,
13.0328708028417, 13.0157733364088, 11.6390533321605, 12.1381383635952,
14.8322426163188, 18.0045897885674, 21.0728604361473, 22.3252833833631,
21.7505753143403, 18.7602079269734, 15.7266841372434, 13.9154954396737,
13.2144576352464, 13.2139912781812, 13.4027324219942, 15.4430418496262,
22.3183102209874, 21.1188124035184, 17.1100694157267, 14.9457449703713,
28.5559272082295, 30.8233549138137, 15.4333924397499];
109 H_forsokspersonA_30gain = [23.6293723981375, 21.0153271114926, 11.5502646465862,
7.18693103544890, 1.94726858307753, 5.78602129194191, 0.393946942555424,
6.48309516527525, 6.43160827831967, 4.84655341319436, 5.39066053351304,
8.19934152763234, 11.2291459594428, 14.3192606068898, 15.5800326168740,
15.0328363503904, 12.0110803378080, 9.01849834900375, 7.20716186223756,
6.51631107890204, 6.47210111128698, 6.74550591787633, 8.75939123955712,
15.6071824724702, 14.4126121764410, 10.4017474153471, 8.24978142703380,
21.8940641379937, 24.3466912969617, 8.74244629593999];
110 H_forsokspersonA_45gain = [23.9035963824190, 19.7627784354757, 9.59485889359808,
9.70716514944108, 2.03648435216886, 4.03474886794260, -0.0439266919882186,
5.22767836988879, 4.95115973368542, 3.48585574852634, 3.92253165172298,
6.52074678118004, 9.57452581017790, 12.8145826031538, 14.0245941041132,
13.4437523637686, 10.4213515151574, 7.41954132714386, 5.64372131223607,
4.89188057979324, 4.86691927640460, 5.12344496809217, 7.16603433250841,
14.0076754314653, 12.7975188070717, 8.82147240305805, 6.65653965149415,
20.3165352348578, 22.8474090154100, 7.19906163828206];

```

```

111 H_forsokspersonA_60gain = [16.6872266504577, 12.9155624600519, 2.26155548866738,
    0.955164211774559, -6.16408868331761, -2.61337907930717, -7.63104459113612,
    -2.17305756627933, -2.30163893313092, -3.52437556429613, -3.33339427165288,
    -0.361466921911173, 2.33525772591644, 5.44231635714585, 6.74145295759381,
    6.22984306352885, 3.16946741727001, 0.176310505871356, -1.64573164642098,
    -2.31976861907816, -2.39378586677162, -2.12159627492737, -0.137002604047851,
    6.75712663174087, 5.55091734219745, 1.56857221480588, -0.563346732501529,
    13.0289650355219, 15.4143310854910, -0.0567564919495567];
112 H_forsokspersonA_70gain = [17.3459206376178, 13.3962812227745, 5.10242479769506,
    3.09080742638588, -7.28218514818398, -3.42810626111493, -8.03383470303757,
    -3.33372018144694, -2.81924348846192, -3.96824727482328, -3.97194536643222,
    -1.02563654937682, 1.71686415772429, 4.76868633590190, 6.03162360751588,
    5.48763982562493, 2.45394124631274, -0.551228640602133, -2.40572635801956,
    -3.05449624026527, -3.12522562195515, -2.90044590786509, -0.915035839987766,
    5.99485279307007, 4.79444159696011, 0.801534179821587, -1.32515376951234,
    12.2720356481508, 14.6622855683944, -0.826640562657090];
113
114
115 NA = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0];
116
117
118 %% Kaller funksjonen "fftlyd",
119 % fftlyd funksjonen gj r dette:
120 %1. konverterer lyd m lingene til ekvivalentniv i 1/3oktavb nd,
121 %2. kalibreringer med resimulatorkalibreringen
122 %3. frekvenskalibrerer med kalibreringsfaktorene "K":
123 %3. A-vekter
124 %4. konverterer fra trommehinne til diffust felt (ISO 11904)
125 %5. Summerer 1/3-oktavb nd til n ekvivalentniv sum,for sammenligning
126 %6. returnerer den uvektede m lingen (uten ISO 11904 og A-vekting, men
127 % m/ frekvenskalibrering.
128 %7. returnerer det vektete ekvivalentniv et i 1/3-oktavb nd m/ ISO 11904 og
129 %A-vekting
130 %8. returnerer summen av det vektete ekvivalentni vet i 1/3-oktavb ndet,
131 %som n verdi.
132
133 [V_11_oving_1uvekta, V_11_oving_1vekta, V_11_oving_1single] = fftlyd(
    V_11_oving_1, KAL, V_Matt_11_03);
134
135 [V_12_oving_1uvekta, V_12_oving_1vekta, V_12_oving_1single] = fftlyd(
    V_12_oving_1, KAL, V_Matt_11_03);
136 [H_12_oving_1uvekta, H_12_oving_1vekta, H_12_oving_1single] = fftlyd(
    H_12_oving_1, KAL, H_Matt_11_03);
137
138 [V_12_oving_2uvekta, V_12_oving_2vekta, V_12_oving_2single] = fftlyd(
    V_12_oving_2, KAL, V_Matt_11_03);
139 [H_12_oving_2uvekta, H_12_oving_2vekta, H_12_oving_2single] = fftlyd(
    H_12_oving_2, KAL, H_Matt_11_03);
140
141 [V_14_oving_2uvekta, V_14_oving_2vekta, V_14_oving_2single] = fftlyd(
    V_14_oving_2, KAL, V_Matt_alt_aent);
142 [H_14_oving_2uvekta, H_14_oving_2vekta, H_14_oving_2single] = fftlyd(
    H_14_oving_2, KAL, H_Matt_alt_aent);
143
144 [V_14_oving_3uvekta, V_14_oving_3vekta, V_14_oving_3single] = fftlyd(
    V_14_oving_3, KAL, V_Matt_alt_aent);
145 [H_14_oving_3uvekta, H_14_oving_3vekta, H_14_oving_3single] = fftlyd(
    H_14_oving_3, KAL, H_Matt_alt_aent);
146
147 [V_15_pre_uvekta, V_15_pre_vekta, V_15_pre_single] = fftlyd(
    V_15_preprod, KAL, V_Matt_alt_aent);
148 [H_15_pre_uvekta, H_15_pre_vekta, H_15_pre_single] = fftlyd(
    H_15_preprod, KAL, H_Matt_alt_aent);
149
150 [V_16_pre_uvekta, V_16_pre_vekta, V_16_pre_single] = fftlyd(
    V_16_preprod, KAL, V_Matt_alt_aent);
151 [H_16_pre_uvekta, H_16_pre_vekta, H_16_pre_single] = fftlyd(
    H_16_preprod, KAL, H_Matt_alt_aent);
152
153 [V_16_konsert_uvekta, V_16_konsert_vekta, V_16_konsert_single] = fftlyd(
    V_16_konsert, KAL, V_Matt_alt_aent);
154

```

```

155 [V_17_lydprov_uvekta, V_17_lydprov_vekta, V_17_lydprov_single] = fftlyd(
    V_17_lydprov, KAL, V_Matt_alt_aent);
156 [H_17_lydprov_uvekta, H_17_lydprov_vekta, H_17_lydprov_single] = fftlyd(
    H_17_lydprov, KAL, H_Matt_alt_aent);
157
158 [V_17_konsert_1uvekta, V_17_konsert_1vekta, V_17_konsert_1single] = fftlyd(
    V_17_konsert_1, KAL, V_Matt_alt_aent);
159 [H_17_konsert_1uvekta, H_17_konsert_1vekta, H_17_konsert_1single] = fftlyd(
    H_17_konsert_1, KAL, H_Matt_alt_aent);
160
161 [V_17_konsert_2uvekta, V_17_konsert_2vekta, V_17_konsert_2single] = fftlyd(
    V_17_konsert_2, KAL, V_Matt_alt_aent);
162 [H_17_konsert_2uvekta, H_17_konsert_2vekta, H_17_konsert_2single] = fftlyd(
    H_17_konsert_2, KAL, H_Matt_alt_aent);
163
164 [V_19_lydprov_uvekta, V_19_lydprov_vekta, V_19_lydprov_single] = fftlyd(
    V_19_lydprov, KAL, V_Matt_alt_aent);
165 [H_19_lydprov_uvekta, H_19_lydprov_vekta, H_19_lydprov_single] = fftlyd(
    H_19_lydprov, KAL, H_Matt_alt_aent);
166
167 [V_19_konsert_uvekta, V_19_konsert_vekta, V_19_konsert_single] = fftlyd(
    V_19_konsert, KAL, V_Matt_alt_aent);
168 [H_19_konsert_uvekta, H_19_konsert_vekta, H_19_konsert_single] = fftlyd(
    H_19_konsert, KAL, H_Matt_alt_aent);
169
170 [V_22_lydprov_uvekta, V_22_lydprov_vekta, V_22_lydprov_single] = fftlyd(
    V_22_lydprov, KAL, V_Matt_alt_aent);
171 [H_22_lydprov_uvekta, H_22_lydprov_vekta, H_22_lydprov_single] = fftlyd(
    H_22_lydprov, KAL, H_Matt_alt_aent);
172
173 [V_22_konsert_uvekta, V_22_konsert_vekta, V_22_konsert_single] = fftlyd(
    V_22_konsert, KAL, V_Matt_alt_aent);
174 [H_22_konsert_uvekta, H_22_konsert_vekta, H_22_konsert_single] = fftlyd(
    H_22_konsert, KAL, H_Matt_alt_aent);
175
176 [V_24_lydprov_uvekta, V_24_lydprov_vekta, V_24_lydprov_single] = fftlyd(
    V_24_lydprov, KAL, V_Matt_alt_aent);
177 [H_24_lydprov_uvekta, H_24_lydprov_vekta, H_24_lydprov_single] = fftlyd(
    H_24_lydprov, KAL, H_Matt_alt_aent);
178
179 [V_24_konsert_uvekta, V_24_konsert_vekta, V_24_konsert_single] = fftlyd(
    V_24_konsert, KAL, V_Matt_alt_aent);
180 [H_24_konsert_uvekta, H_24_konsert_vekta, H_24_konsert_single] = fftlyd(
    H_24_konsert, KAL, H_Matt_alt_aent);
181
182
183
184 %% frekvenser
185 f= [22 31.5 40 50 63 80 100 125 160 200 250 315 400 500 630 800
    1000 1250 1600 2000 2500 3150 4000 5000 6300 8000 10000 12500 16000 20000];
186
187 %% plot:
188
189 Lightblue = [151 192 234]./255;
190 Lightred = [232 134 85]./255;
191
192 %Plot av vinger :
193 figure(1);
194 semilogx(f,V_11_oving_1uvekta, '-o', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
195 hold on
196 semilogx(f,V_12_oving_1uvekta, '-', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
197 hold on
198 semilogx(f,H_12_oving_1uvekta, '-', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
199 hold on
200 semilogx(f,V_12_oving_2uvekta, '-*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
201 hold on
202 semilogx(f,H_12_oving_2uvekta, '-*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
203 hold on
204 semilogx(f,V_14_oving_2uvekta, '-x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
205 hold on
206 semilogx(f,H_14_oving_2uvekta, '-x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
207 hold on
208 semilogx(f,V_14_oving_3uvekta, '--', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);

```

```

209 hold on
210 semilogx(f,H_14_oving_3uvekta, '--', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
211 xlim([20 16000])
212 ylim([40 120])
213 xticks([63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 16000])
214 xticklabels({'63','125','250','500','1k','2k','4k','8k','16k'})
215 legend('V ving 11.03','V ving 12.03 nr.1','H ving 12.03 nr.1','V ving 12.03
nr.2','H ving 12.03 nr.2','V ving 14.03 nr.1','H ving 14.03 nr.1','V
ving 14.03 nr.2','H ving 14.03 nr.2','Location','Southeast')
216 xlabel('Frekvens [Hz]')
217 ylabel('Differanse [dB re p_0]')
218 set(gca,'fontsize',20, 'LineWidth', 1.5)
219 set(gcf,'units','centimeters','position',[2,1,40,18])
220 title('vinger fors ksperson D, IEM innsidemikrofoner u/ ISO 11904:1:2002 og A-
vektig')
221 %annotation('textbox',[.35 .9 .1 .10],'String',' re simulator vs innside
mikrofoner','EdgeColor','none', 'fontsize',25)
222 ax = gca
223 ax.GridLineStyle = '-'
224 ax.GridColor = 'k'
225 ax.GridAlpha = 0.8 % maximum line opacity
226 grid on
227 %%%%%%%%%%%%%%%
228
229 figure(2);
230 semilogx(f,V_11_oving_1vekta, '-o', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
231 hold on
232 semilogx(f,V_12_oving_1vekta, '-', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
233 hold on
234 semilogx(f,H_12_oving_1vekta, '-', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
235 hold on
236 semilogx(f,V_12_oving_2vekta, '-*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
237 hold on
238 semilogx(f,H_12_oving_2vekta, '-*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
239 hold on
240 semilogx(f,V_14_oving_2vekta, '-x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
241 hold on
242 semilogx(f,H_14_oving_2vekta, '-x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
243 hold on
244 semilogx(f,V_14_oving_3vekta, '--', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
245 hold on
246 semilogx(f,H_14_oving_3vekta, '--', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
247 xlim([20 16000])
248 ylim([40 120])
249 xticks([63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 16000])
250 xticklabels({'63','125','250','500','1k','2k','4k','8k','16k'})
251 %legend('Innsidemikk V', 'Sim V', 'frekvensresp EK-230828-C36 ', 'resonans hele
ret ', 'Location', 'Southeast')
252 legend('V ving 11.03','V ving 12.03 nr.1','H ving 12.03 nr.1','V ving 12.03
nr.2','H ving 12.03 nr.2','V ving 14.03 nr.1','H ving 14.03 nr.1','V
ving 14.03 nr.2','H ving 14.03 nr.2','Location','Southeast')
253 xlabel('Frekvens [Hz]')
254 ylabel('Differanse [dB re p_0]')
255 set(gca,'fontsize',20, 'LineWidth', 1.5)
256 set(gcf,'units','centimeters','position',[2,1,40,18])
257 title('vinger fors ksperson D, IEM innsidemikrofoner m/ ISO 11904:1:2002 og A-
vektig')
258 %annotation('textbox',[.35 .9 .1 .10],'String',' re simulator vs innside
mikrofoner','EdgeColor','none', 'fontsize',25)
259 ax = gca
260 ax.GridLineStyle = '-'
261 ax.GridColor = 'k'
262 ax.GridAlpha = 0.8 % maximum line opacity
263 grid on
264 %%%%%%%%%%%%%%%
265
266 %Plot av preproduksjoner og lydpr ver:
267 figure(3);
268 semilogx(f,V_15_pre_uvekta, '-', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
269 hold on
270 semilogx(f,H_15_pre_uvekta, '-', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
271 hold on
272 semilogx(f,V_16_pre_uvekta, '-*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);

```

```

273 hold on
274 semilogx(f,H_16_pre_uvekta, '-*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
275 hold on
276 semilogx(f,V_17_lydprov_uvekta, '-x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
277 hold on
278 semilogx(f,H_17_lydprov_uvekta, '-x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
279 hold on
280 semilogx(f,V_19_lydprov_uvekta, '-o', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
281 hold on
282 semilogx(f,H_19_lydprov_uvekta, '-o', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
283 hold on
284 semilogx(f,V_22_lydprov_uvekta, '--*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
285 hold on
286 semilogx(f,H_22_lydprov_uvekta, '--*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
287 hold on
288 semilogx(f,V_24_lydprov_uvekta, '--x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
289 hold on
290 semilogx(f,H_24_lydprov_uvekta, '--x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
291 xlim([20 16000])
292 ylim([40 120])
293 xticks([63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 16000])
294 xticklabels({'63','125','250','500','1k','2k','4k','8k','16k'})
295 legend('V preprod 15.03','H preprod 15.03','V preprod 16.03','H preprod 16.03','V
      lydpr ve 17.03','H lydpr ve 17.03','V lydpr ve 19.03','H lydpr ve 19.03',
      'V lydpr ve 22.03','H lydpr ve 22.03','V lydpr ve 24.03','H lydpr ve 24.03',
      'Location', 'Southeast')
296 xlabel('Frekvens [Hz]')
297 ylabel('Differanse [dB re p_0]')
298 set(gca,'fontsize',20, 'LineWidth', 1.5)
299 set(gcf,'units','centimeters','position',[2,1,40,18])
300 title('Preproduksjon og lydpr ver fors ksperson D, IEM innsidemikrofoner u/ ISO
      11904:1:2002 og A-vekting')
301 ax = gca
302 ax.GridLineStyle = '-'
303 ax.GridColor = 'k'
304 ax.GridAlpha = 0.8 % maximum line opacity
305 grid on
306 %%%%%%%%%%%
307
308 %Plot av preproduksjoner og lydpr ver:
309 figure(4);
310 semilogx(f,V_15_pre_vekta, '-', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
311 hold on
312 semilogx(f,V_15_pre_vekta, '-', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
313 hold on
314 semilogx(f,V_16_pre_vekta, '-*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
315 hold on
316 semilogx(f,H_16_pre_vekta, '-*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
317 hold on
318 semilogx(f,V_17_lydprov_vekta, '-x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
319 hold on
320 semilogx(f,H_17_lydprov_vekta, '-x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
321 hold on
322 semilogx(f,V_19_lydprov_vekta, '-o', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
323 hold on
324 semilogx(f,H_19_lydprov_vekta, '-o', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
325 hold on
326 semilogx(f,V_22_lydprov_vekta, '--*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
327 hold on
328 semilogx(f,H_22_lydprov_vekta, '--*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
329 hold on
330 semilogx(f,V_24_lydprov_vekta, '--x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
331 hold on
332 semilogx(f,H_24_lydprov_vekta, '--x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
333 xlim([20 16000])
334 ylim([40 120])
335 xticks([63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 16000])
336 xticklabels({'63','125','250','500','1k','2k','4k','8k','16k'})
337 legend('V preprod 15.03','H preprod 15.03','V preprod 16.03','H preprod 16.03','V
      lydpr ve 17.03','H lydpr ve 17.03','V lydpr ve 19.03','H lydpr ve 19.03',
      'V lydpr ve 22.03','H lydpr ve 22.03','V lydpr ve 24.03','H lydpr ve 24.03',
      'Location', 'Southeast')
338 xlabel('Frekvens [Hz]')

```

```

339 ylabel('Differanse [dB re p_0]')
340 set(gca,'fontsize',20, 'LineWidth', 1.5)
341 set(gcf,'units','centimeters','position',[2,1,40,18])
342 title('Preproduksjon og lydpr ver fors ksperson D, IEM innsidemikrofoner m/ ISO
      11904:1:2002 og A-vekting')
343 ax = gca
344 ax.GridLineStyle = '-'
345 ax.GridColor = 'k'
346 ax.GridAlpha = 0.8 % maximum line opacity
347 grid on
348 %%%%%%%%%%%
349
350 %Plot av konserter
351 figure(5);
352 semilogx(f,V_16_konsert_uvekta, '--', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
353 hold on
354 semilogx(f,V_17_konsert_1uvekta, '-', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
355 hold on
356 semilogx(f,H_17_konsert_1uvekta, '-', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
357 hold on
358 semilogx(f,V_17_konsert_2uvekta, '-x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
359 hold on
360 semilogx(f,H_17_konsert_2uvekta, '-x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
361 hold on
362 semilogx(f,V_19_konsert_uvekta, '-o', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
363 hold on
364 semilogx(f,H_19_konsert_uvekta, '-o', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
365 hold on
366 semilogx(f,V_22_konsert_uvekta, '--*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
367 hold on
368 semilogx(f,H_22_konsert_uvekta, '--*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
369 hold on
370 semilogx(f,V_24_konsert_uvekta, '--x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
371 hold on
372 semilogx(f,H_24_konsert_uvekta, '--x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
373 xlim([20 16000])
374 ylim([40 120])
375 xticks([63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 16000])
376 xticklabels({'63','125','250','500','1k', '2k', '4k', '8k', '16k'})
377 legend('V konsert 16.03','V konsert 17.03 nr.1','H konsert 17.03 nr.1','V konsert
      17.03 nr.2','H konsert 17.03 nr.2','V konsert 19.03','H konsert 19.03','V
      konsert 22.03','H konsert 22.03','V konsert 24.03','H konsert 24.03', 'Location
      ', 'Southeast')
378 xlabel('Frekvens [Hz]')
379 ylabel('Differanse [dB re p_0]')
380 set(gca,'fontsize',20, 'LineWidth', 1.5)
381 set(gcf,'units','centimeters','position',[2,1,40,18])
382 title('Konserter fors ksperson D, IEM innsidemikrofoner u/ ISO 11904:1:2002 og A-
      vekting')
383 ax = gca
384 ax.GridLineStyle = '-'
385 ax.GridColor = 'k'
386 ax.GridAlpha = 0.8 % maximum line opacity
387 grid on
388 %%%%%%%%%%%
389
390 figure(6);
391 semilogx(f,V_16_konsert_vekta, '--', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
392 hold on
393 semilogx(f,V_17_konsert_1vekta, '-', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
394 hold on
395 semilogx(f,H_17_konsert_1vekta, '-', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
396 hold on
397 semilogx(f,V_17_konsert_2vekta, '-x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
398 hold on
399 semilogx(f,H_17_konsert_2vekta, '-x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
400 hold on
401 semilogx(f,V_19_konsert_vekta, '-o', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
402 hold on
403 semilogx(f,H_19_konsert_vekta, '-o', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
404 hold on
405 semilogx(f,V_22_konsert_vekta, '--*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
406 hold on

```

```

407 semilogx(f,H_22_konsert_vekta, '--*', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
408 hold on
409 semilogx(f,V_24_konsert_vekta, '--x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightblue]);
410 hold on
411 semilogx(f,H_24_konsert_vekta, '--x', 'Linewidth', 2, 'Color', [Lightred]);
412 xlim([20 16000])
413 ylim([40 120])
414 xticks([63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 16000])
415 xticklabels({'63','125','250','500','1k', '2k', '4k', '8k', '16k'})
416 legend('V konsert 16.03','V konsert 17.03 nr.1','H konsert 17.03 nr.1','V konsert
17.03 nr.2','H konsert 17.03 nr.2','V konsert 19.03','H konsert 19.03','V
konsert 22.03','H konsert 22.03','V konsert 24.03','H konsert 24.03', 'Location
', 'Southeast')
417 xlabel('Frekvens [Hz]')
418 ylabel('Differanse [dB re p_0]')
419 set(gca,'fontsize',20, 'LineWidth', 1.5)
420 set(gcf,'units','centimeters','position',[2,1,40,18])
421 title('Konserter Matt IEM innsidemikrofoner m/ ISO 11904:1:2002 og A-vekting')
422 ax = gca
423 ax.GridLineStyle = '-'
424 ax.GridColor = 'k'
425 ax.GridAlpha = 0.8 % maximum line opacity
426 grid on
427 %%%%%%%%%%%
428
429
430 function [uvekta, vekta, singlenr] = fftlyd(Lyd, Kalibrasjon, Kalfaktor)
431
432 Fs= 44100; %samplerate
433 p0=2e-5; %referanse dB
434
435 %Generell kalibrering:
436 %Kalkulerer kalibrasjonsfaktor "A" fra resimulator .
437 %kalibrasjonsfaktor "A", m ikke forveksles med kalibrasjonsfaktorene K,
438 %som er for hvert "i"ende 1/3-oktavn nd
439 rms_kal = rms(Kalibrasjon); %rms av kalibrasjonsopptaket.
440 p_kal=p0.*10.^(94/20); %1 pascal
441 A = rms_kal/(p_kal); %kalibrasjonsfaktor "A"
442 Lyd = Lyd/A; %lydm ling fra IEM mikrofon kalibrert ift til resim .
443 %dette er ikke det som som frekvenskalibreringen med kalfaktorene "K".
444
445 antall_samples = length(lyd); %finder hvor mange samples lydfileen er.
446
447 %Forbedrer hastigheten til fften ved "zero padding" (anbefalt av matlab):
448 p = nextpow2(antall_samples);
449 n = 2^p;
450
451 %Lager en frekvensvektor med like mange steg som fften vil inneholde:
452 ff = Fs*(0:(n/2))/n;
453 ff = ff';
454
455 %Gjennomf rer FFT:
456 Lyd_fft = (fft(Lyd,n)/n)*2; %doing an FFT (fortsatt i pascal her)
457 dB_Lyd_fft = 20*log10((abs(Lyd_fft(1:(n/2)+1))./p0)); %konverterer til dB
458 dB_Lyd_fft = dB_Lyd_fft';
459
460
461 %Definerer 1/3-oktavn nd:
462 C_13octavebandsValue = [];
463 center = [6.3 8 10 12.5 16 20 25 31.5 40 50 63 80 100 125
160 200 250 315 400 500 630 800 1000 1250 1600 2000 2500 3150 4000 5000 6300
8000 10000 12500 16000 20000];
464 lower = [5.6 7.0 8.9 11.1 14.2 17.8 22.4 28.2 35.5 44.7 56.2 70.8 89.1 112
141 178 224 282 355 447 562 708 891 1122 1413 1778 2239 2818 3548 4467 5623
7079 8913 11220 14130 17780];
465 upper = [7.0 8.9 11.1 14.2 17.8 22.4 28.2 35.5 44.7 56.2 70.8 89.1 112 141
178 224 282 355 447 562 708 891 1122 1413 1778 2239 2818 3548 4467 5623 7079
8913 11220 14130 17780 22390];
466
467
468 %G r gjennom hvert oktavn nd, og kaller funksjonen "sum_13octave".
469 %"sum_13octave" kan sees under i koden.
470 %sum_13octave summerer sammen alle pascalverdiene innenfor ett 1/3oktavn nd,

```



```

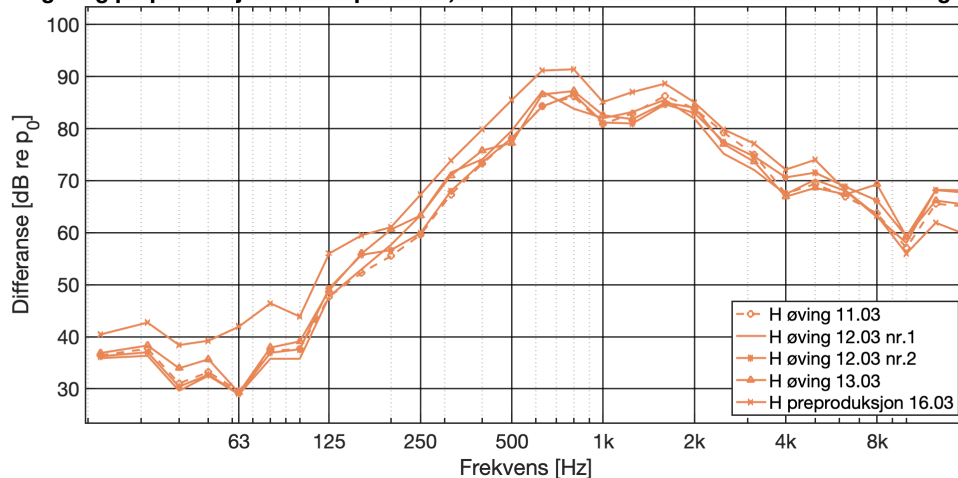
471 %deretter konverteres summen av pascalverdiene til 1/3oktavn det til dB.
472 %L kken under g r gjennom alle 36 1/3-oktavn dene som er definert over
473 %(fra 6,3 Hz til 20 kHz), slik at vi f r en liste med summen av hvert
474 %1/3-oktavn d i dB.
475 for index=1:length(lower)
476     each_13octaveband_Value_sim(index)=sum_13octave(lower(index),upper(index),ff,
         Lyd_fft);
477 end
478
479 %fjerner 1/3oktavn dene under 25Hz, da de ikke er av stor interesse for
480 %denne unders kelsen
481 output_uvekta = each_13octaveband_Value_sim(7:end);
482
483 %Summerer p kalibreringsfaktor "K", for den gaininnstillingen som var
484 %valgt til m lingen. Se evnt oversikten av alle kalibreringsfaktorene "K"
485 %i en tidligere seksjon av denne koden. Returnerer det kalibrerte, men
486 %uvektede ekvivalentniv et i 1/3-oktavn d
487 uvekta = output_uvekta + Kalfaktor;
488
489 %% Diffust felt ISO og vekting:
490 % 1/3 oktavn d hentet fra ISO 11904:1:2002 Diffust felt, "blocked entrance" (25
         Hz til 20k Hz)
491
492 Diffust_felt = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8,
         1.1, 1.5, 1.7, 2.2, 2.3, 2.3, 3.1, 3.8, 4.4, 5.9, 8.1, 10.3, 10.0,
         7.3, 6.0, 3.8, 2, -0.2, 0];
493
494 % A_vekting (25Hz til 20k Hz)
495 A_vekting = [-44.7, -39.4, -34.6, -30.2, -26.2, -22.5, -19.1, -16.1, -13.4, -10.9,
         -8.6, -6.6, -4.8, -3.2, -1.9, -0.8, 0, 0.6, 1, 1.2, 1.3, 1.2, 1, 0.5, -0.1,
         -1.1, -2.5, -4.3, -6.6, -9.3];
496
497 %A-vekter og legger p konvertering til diffus felt
498 vekta = uvekta - Diffust_felt + A_vekting;
499
500 %% Summerer ekvivalentniv et i 1/3-oktavn d fra 125Hz til 8kHz, for f n
         ekvivalentniv verdi for sammenligning:
501 singlenr = 10*log10(10^(vekta(8)/10)+10^(vekta(9)/10)+10^(vekta(10)/10)+10^(vekta
         (11)/10)+10^(vekta(12)/10)+10^(vekta(13)/10)+10^(vekta(14)/10)+10^(vekta(15)
         /10)+10^(vekta(16)/10)+10^(vekta(17)/10)+10^(vekta(18)/10)+10^(vekta(19)/10)
         +10^(vekta(20)/10)+10^(vekta(21)/10)+10^(vekta(22)/10)+10^(vekta(23)/10)+10^(
         vekta(24)/10)+10^(vekta(25)/10)+10^(vekta(26)/10));
502
503 end
504
505
506 %funksjon som konverterer alle pascalverdier innenfor et gitt 1/3-oktavn d
507 %til dB, og deretter summerer disse, til n dB-verdi for det gitte
508 %1/3-oktavn d et.
509
510 function output = sum_13octave(lower,upper,ff, Noise_rec_cal_fft)
511
512     Indx_Freq_low1 = find(ff < lower, 1, 'last');
513     Indx_Freq_up1 = find(ff < upper, 1, 'last');
514
515
516     output_dB = 20*log10((abs(Noise_rec_cal_fft(Indx_Freq_low1:Indx_Freq_up1)))/(20
         e-6));
517     output = 10*log10(sum(10.^(output_dB/10)));
518
519 end

```

D Resultat fra alle målinger i 1/3-oktavnband, alle fire forsøkspersoner

D.1 Forsøksperson A, alle målinger i 1/3-oktavnband

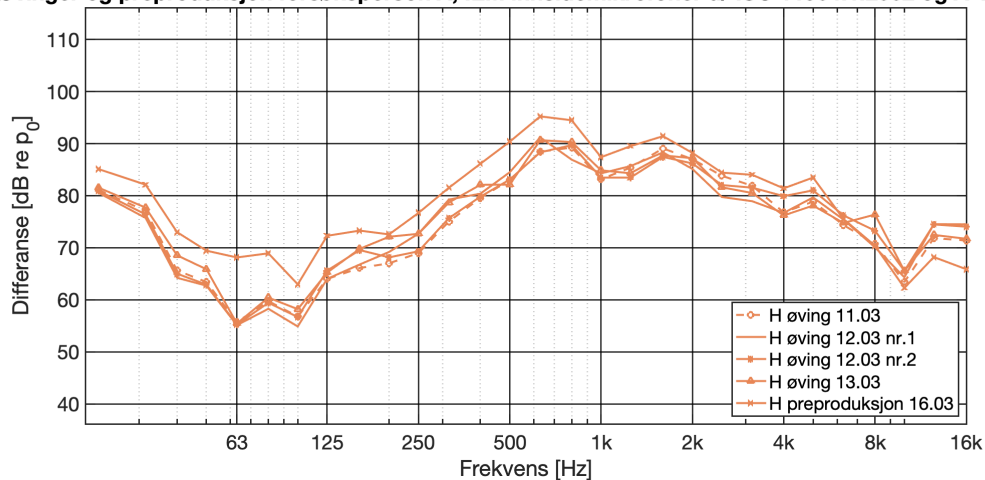
Øvinger og preproduksjon forsøksperson A, IEM innsidemikrofoner m/ ISO 11904:1:2002 og A-vekting



Graf 3. Alle målinger 1/3 oktavnband, forsøksperson A, m/ ISO 11904 og A-vekting

Source: Matlab

Øvinger og preproduksjon forsøksperson A, IEM innsidemikrofoner u/ ISO 11904:1:2002 og A-vekting

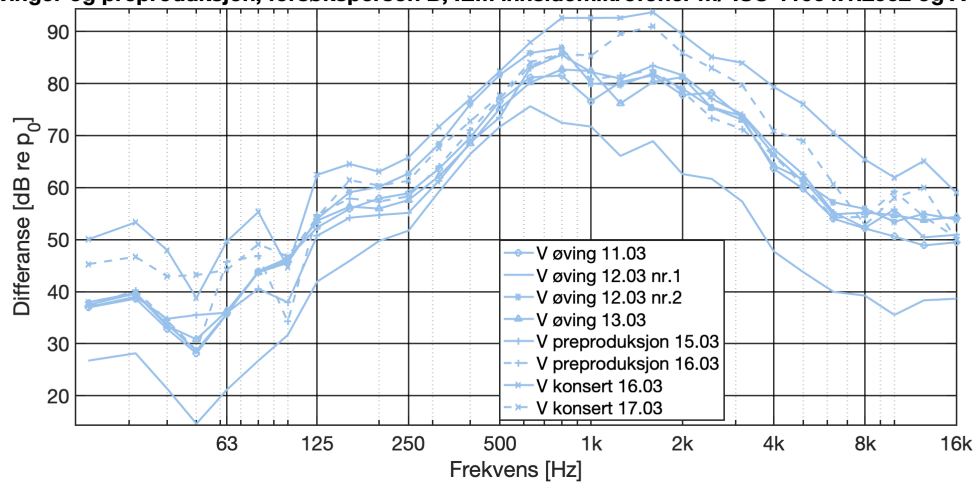


Graf 4. Alle målinger 1/3 oktavnband, forsøksperson A, u/ ISO 11904 og A-vekting

Source: Matlab

D.2 Forsøksperson B, alle målinger i 1/3-oktavnband

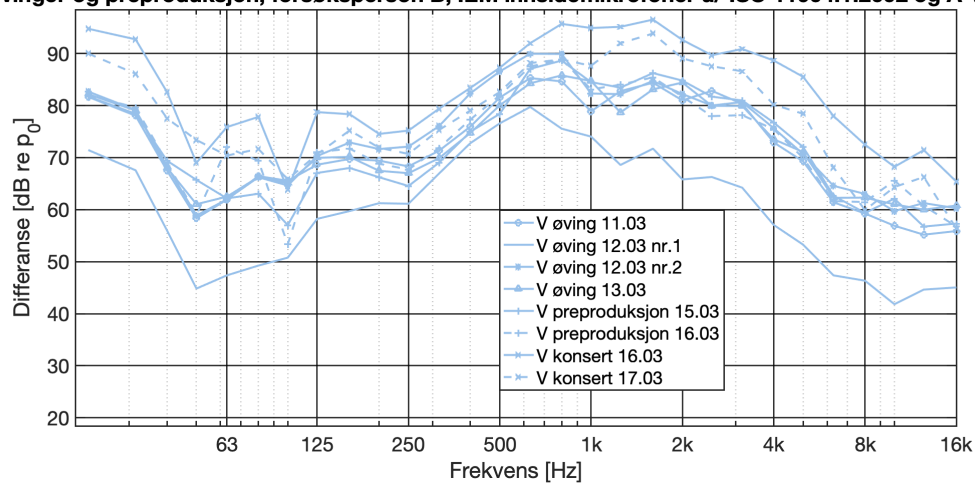
Øvinger og preproduksjon, forsøksperson B, IEM innsidemikrofoner m/ ISO 11904:1:2002 og A-vekting



Graf 5. Alle målinger 1/3 oktavnband, forsøksperson B, m/ ISO 11904 og A-vekting

Source: Matlab

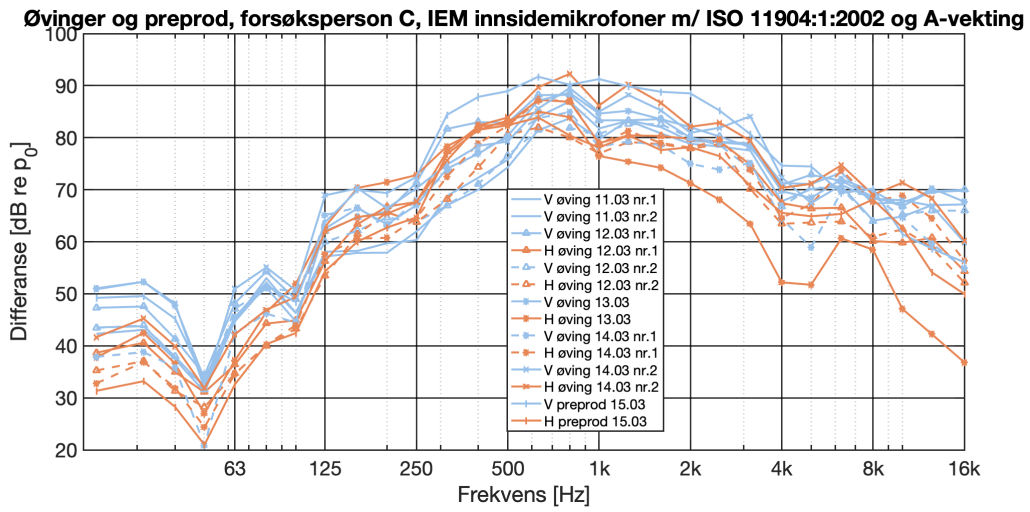
Øvinger og preproduksjon, forsøksperson B, IEM innsidemikrofoner u/ ISO 11904:1:2002 og A-vekting



Graf 6. Alle målinger 1/3 oktavnband, forsøksperson B, u/ ISO 11904 og A-vekting

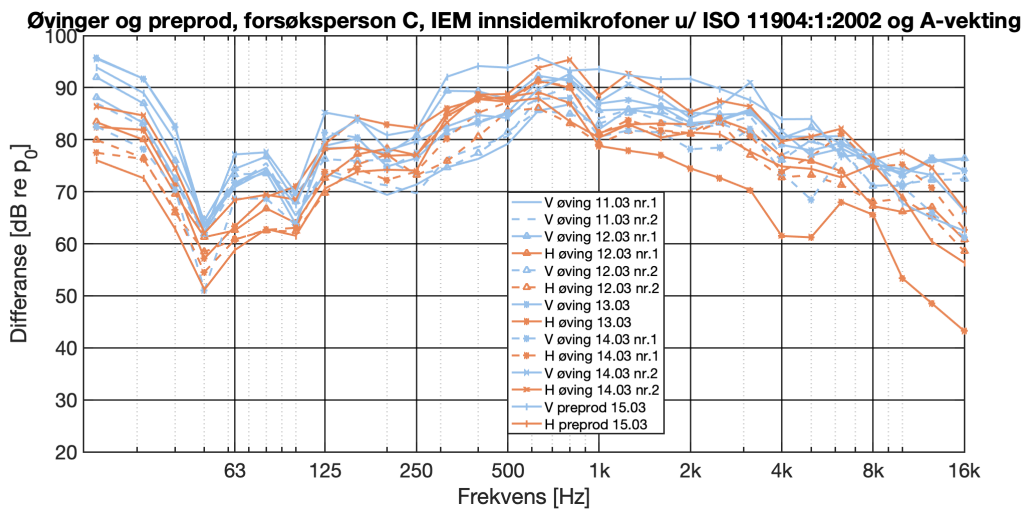
Source: Matlab

D.3 Forsøksperson C, alle målinger i 1/3-oktavnband



Graf 7. Alle målinger 1/3 oktavnband, øvinger og preproduksjon, forsøksperson C, m/ ISO 11904 og A-vekting

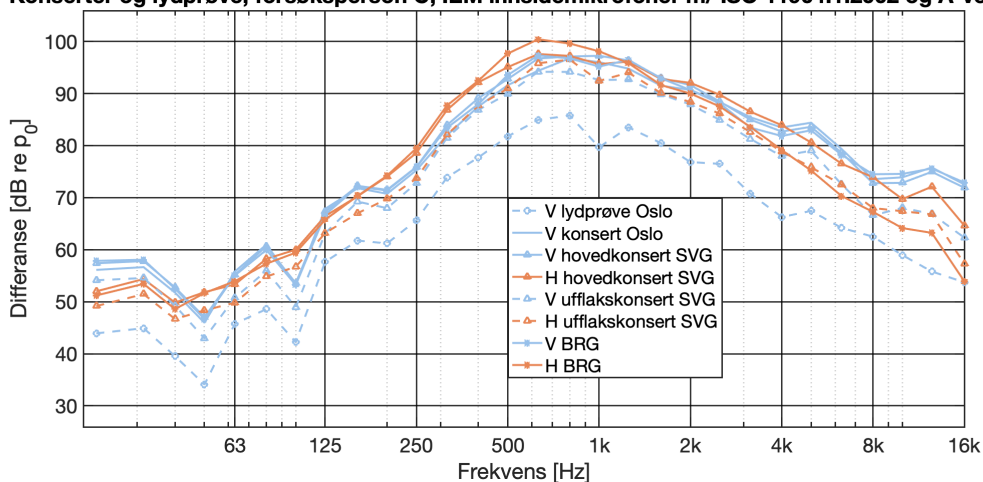
Source: Matlab



Graf 8. Alle målinger 1/3 oktavnband, øvinger og preproduksjon, forsøksperson C, u/ ISO 11904 og A-vekting

Source: Matlab

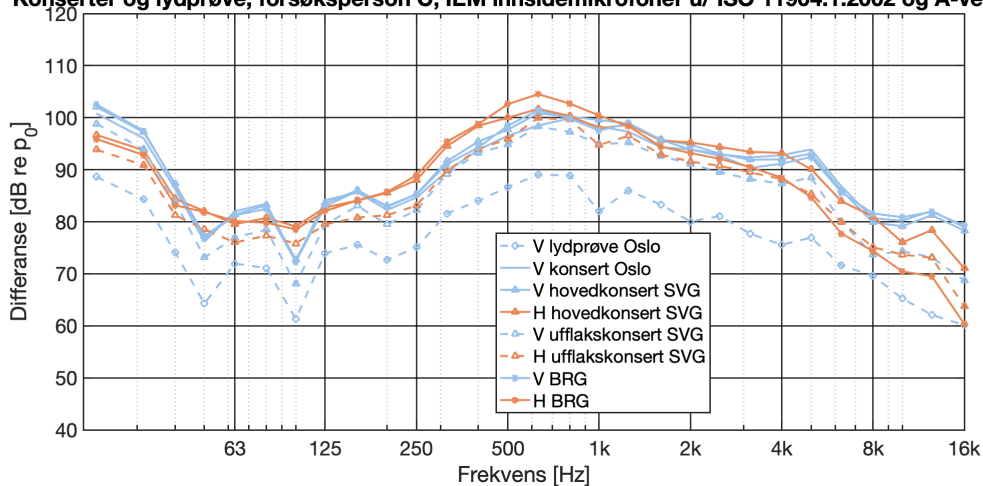
Konserter og lydprøve, forsøksperson C, IEM innsidemikrofoner m/ ISO 11904:1:2002 og A-vekting



Graf 9. Alle målinger 1/3 oktavnband, konserter, forsøksperson C, m/ ISO 11904 og A-vekting

Source: Matlab

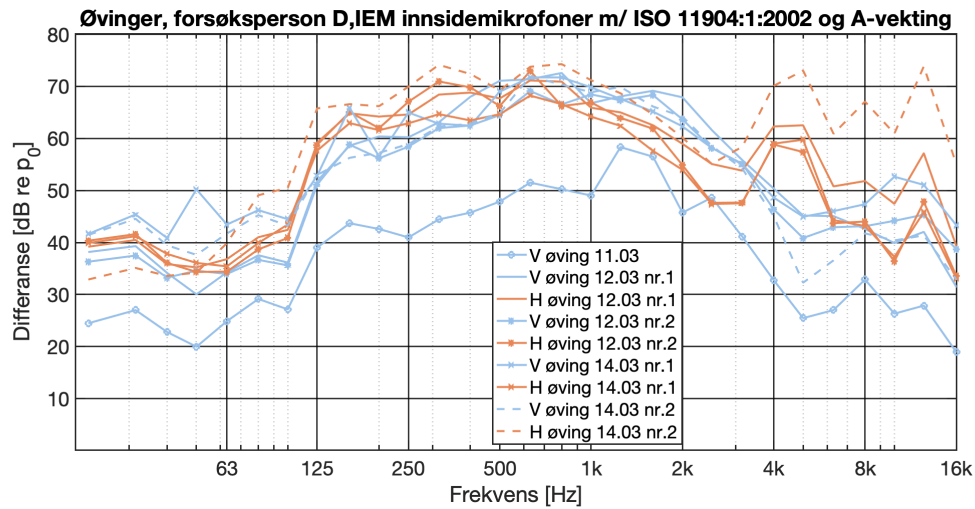
Konserter og lydprøve, forsøksperson C, IEM innsidemikrofoner u/ ISO 11904:1:2002 og A-vekting



Graf 10. Alle målinger 1/3 oktavnband, konserter, forsøksperson C, u/ ISO 11904 og A-vekting

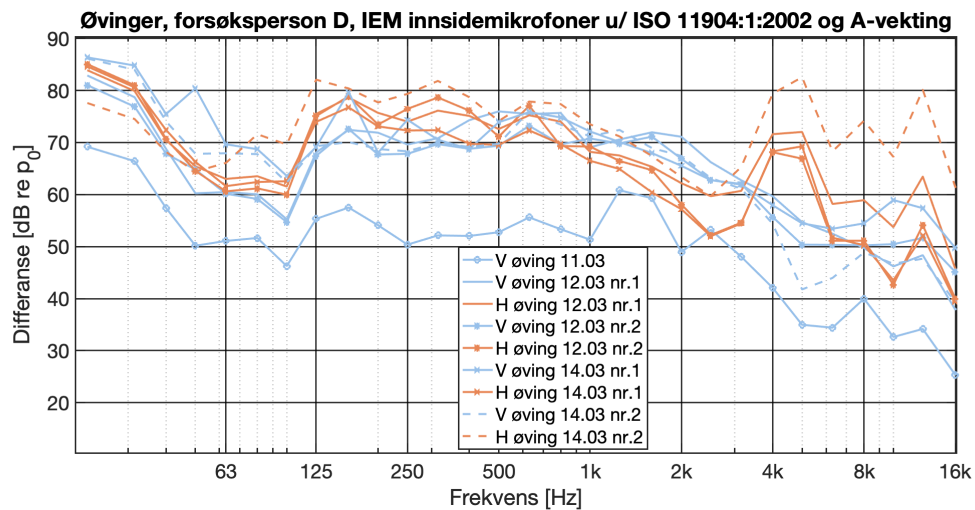
Source: Matlab

D.4 Forsøksperson D, alle målinger i 1/3-oktavnband



Graf 11. Alle målinger 1/3 oktavnband, øvinger, forsøksperson D, m/ ISO 11904 og A-vekting

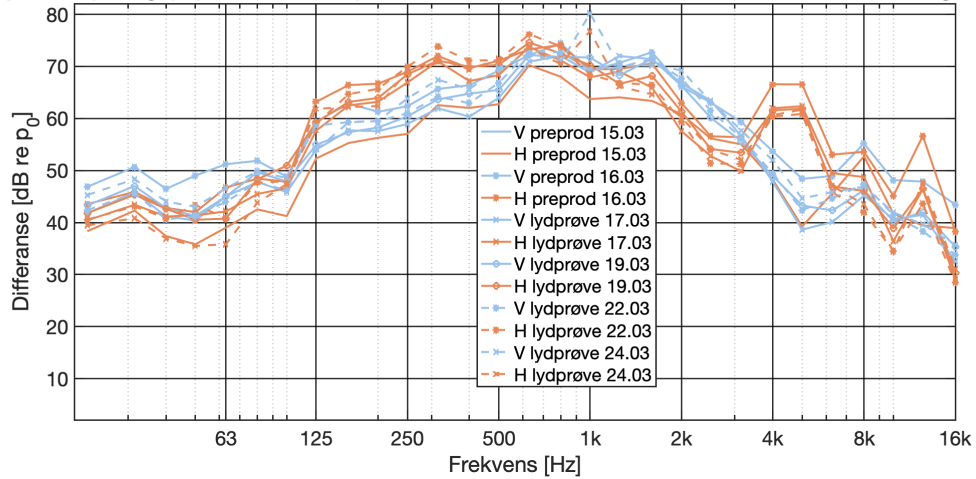
Source: Matlab



Graf 12. Alle målinger 1/3 oktavnband, øvinger, forsøksperson D, u/ ISO 11904 og A-vekting

Source: Matlab

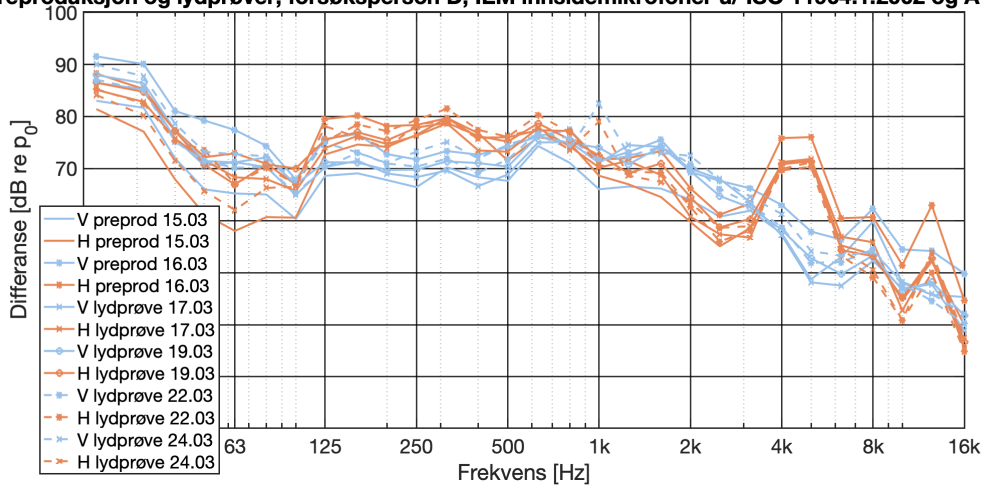
Preproduksjon og lydprøver, forsøksperson D, IEM innsidemikrofoner m/ ISO 11904:1:2002 og A-vekting



Graf 13. Alle målinger 1/3 oktavnband, preproduksjoner, forsøksperson D, m/ ISO 11904 og A-vekting

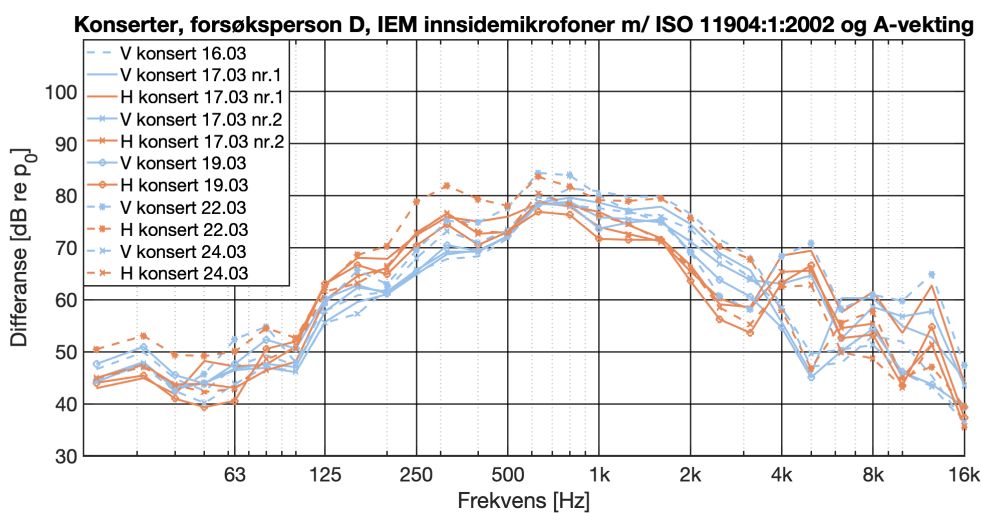
Source: Matlab

Preproduksjon og lydprøver, forsøksperson D, IEM innsidemikrofoner u/ ISO 11904:1:2002 og A-vekting



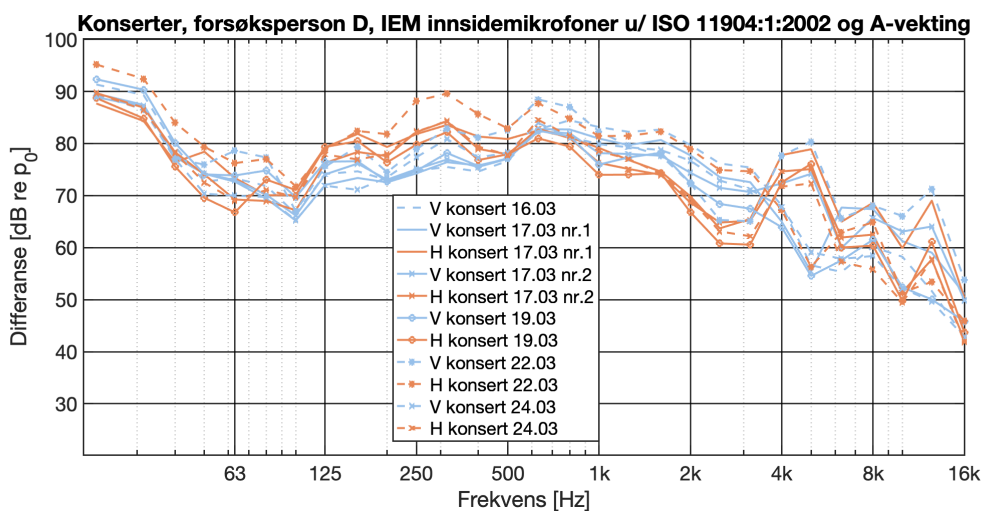
Graf 14. Alle målinger 1/3 oktavnband, preproduksjoner, forsøksperson D, u/ ISO 11904 og A-vekting

Source: Matlab



Graf 15. Alle målinger 1/3 oktavnband, konserter, forsøksperson D, m/ ISO 11904 og A-vekting

Source: Matlab



Graf 16. Alle målinger 1/3 oktavnband, konserter, forsøksperson D, u/ ISO 11904 og A-vekting

Source: Matlab

E Intervju med forsøkspersonene

E.1 Intervju fra forsøksperson A

1. Hvilket instrument spiller du?

– *vokal, gitar*

Det ble målt flere målinger over 100% av grenseverdien for støydose satt av arbeidsmiljøloven. En dose over 100% kan potensielt skade hørselen din. Din høyeste målte dose var på 253% på preproduksjonen på salt før konserten. Det er også stor sannsynlighet for at du hadde fått målte doser over dette på konsertene. De høyeste dosemålingene i undersøkelsen var på konsertene hos de andre forsøkspersonene. Høyeste målte dose var forsøksperson C, på konserten i bergen, der hadde han en dose på over 1700%, noe som tilsvarer 17 ganger anbefalt dose. 4 av 5 målinger av dine målinger var over 100%.

2. Tror du det kan stemme at lydnivåene du ble utsatt for var skadelige?

– *ja tror det. Hvis jeg er i et rom hvor noen spiller trommer er lydnivåene ofte så høye at det er ubehagelig, og da unngår jeg disse lydnivåene. Men, jeg har aldri hatt ubehagelige nivåer i IEM. Dette kan være på grunn av adrenalinet med konsert, og at jeg forventer dette lydnivået.*

3. Har du opplevd ringing i ørene etter konsserter?

– *Nei. Jeg har opplevd det etter å ha vært på konsert, men aldri på egne konsserter.*

4. Tror du at du kunne spilt konsertene med lavere lytting og fortsatt gjennomført konserten med en like god prestasjon?

– *Ja litt, men nok ikke så mye lavere. Sikkert en vanesak, jeg vett ikke helt. Har det (lyttingen i IEM) høyt for å få følelsen av at jeg er i rommet.*

5. Hva tror du at du kunne gjort for å begrense lydnivåene du ble utsatt for?

– *Skaffe meg bedre formstøpte propper som demper mer. Sette lyttenivået før konserten, og teipe det fast, slik at jeg ikke kan øke nivået under konsert. Det er ingen måte for meg å vite om nivået jeg setter er ok, og jeg skulle hatt en måte vite om nivået jeg setter på lydprøve er greit. Jeg tror også at lydnivåene kunne blitt begrenset ved å sette publikumsmikkene til rett nivå. Ellers tenker jeg det er viktig å være bevisst på lydnivåene.*

6. Hvilke instrumenter har du vanligvis i lyttingen din?

– *Mest egen vokal. Min egen gitar. Gitar og bass. Litt tracks. Litt trommer, men dette varierer veldig. Vanskelig å si. Jeg har litt av alt og ellers høy egen vokal. Vanskelig å sei hvor høyt klikket er*

7. Skruer du opp nivået på IEM mellom lydprøve og konsert?

– *Vanskelig å sei. Det kan ha skjedd, men det er ikke en gjenganger. Over tid har jeg prøvd å setta nivået på lydprøve, husker ikke når jeg begynte å teipe fast, slik at jeg ikke kan endre det under konsert.*

8. Har du noe annet å tilføye?

– *Denne undersøkelsen er viktig, hørselskader er et meget stort onde, kjipt å falle utenfor sosialt, få mindre glede, falle utenfor jobb. Mindre glede for musikk. Det å være musiker selv er en risiko livsstil for mange. Musikere har dårlig råd, lite pensjon, usikre arbeidstider, og så skal man i tillegg få hørselskader?*

E.2 Intervju fra forsøksperson B

1. Hvilket instrument spiller du?

– *gitar, vokal*

Det ble målt flere målinger over 100% av grenseverdien for støydose satt av arbeidsmiljøloven. En dose over 100% kan potensielt skade hørselen din. Din høyeste målte dose var på 473% på konserten i Oslo. 2 av 8 av dine målinger var over 100%.

-
2. Tror du det kan stemme at lydnivåene du ble utsatt for var skadelige?
– *definitivt, på konsertene spesielt.*
3. Har du opplevd ringing i ørene etter konserter?
– *Ja.*
4. Tror du at du kunne spilt konsertene med lavere lytting og fortsatt gjennomført konserten med en like god prestasjon?
– *Nei, ikke på disse konsertene, pga. problemer med proppene. Proppene lakk mye, noe som resulterte i mye ambiens i lyttingen. Det var også problemer med høyttalerene i proppene. Opplevde mye muffled lyd i in-earen, og måtte derfor skru opp lyttingen til jeg bare hørte klikk. .*
5. Hva tror du at du kunne gjort for å begrense lydnivåene du ble utsatt for?
– *Bedre monitortekniker tror jeg kunne begrenset lydnivåene. Jeg tror også det å bruke likt klikk på alle sangene kan gjøre slik at man kan ha lyttingen lavere. Da blir man vant med lyden av klikket og det er, lettere å høre den siden den er forutsigbar. På øvingene og konsertene på denne turné-en hadde vi forskjellig klikk til hver sang. Jeg tror også bedre og mer riktige propper, gode formstøpte propper med jevn lyd ville gjort det enklere å ha lavere lyd. Forskjellene i lydnivåene mellom lydprøvene og konsertene var store, mye pga. lyd fra publikum gjennom publikumsmikker, at PA ble skrudd høyere, og at vi er i mye bevegelse under konsertene. Plutselig hører man ikke så mye under konsertene, og må skru opp lyttingen. Dess mer forutsigbart utstyr (fra lydprøve til konsert), og dess mer demping (med formstøpte), dess lettere å ha lavere lytting. Jeg er fan av å legge en limiter på ett ganske høyt nivå på IEM recieveren, sånn at du ikke kan gå høyere enn et visst nivå. Ellers tror jeg ett tips er å rett og slett prioritere et lavt volum i lyttingen. Du blir mett på at lyden blir høy, og så du må skru den høyere etter hvert. Man trenger likevel litt av ambiensen på konsertene, og for mye demping kan også være et problem. Du vil ikke ha null ambiens, du ønsker føle konsertbulderet. Avstanden fra PA og subs bestemmer lydnivået jeg kan ha i lyttingen, da dette er hovedkilden på ambiens der jeg vanligvis står (fremme på høyre side på scenen).*
6. Hvilke instrumenter har du vanligvis i lyttingen din?
– *Jeg pleier å ha en base av alt. I trommene har jeg litt mer kick og snare enn resten. Jeg har alle gitarene, men pleier å ha min gitar litt høyere. Pleier ikke å ha så mye bass, du får som regel nok av det på scenen. Jeg har alle vokaler, men min høyest, mainvokalist nest høyt, og de to andre lavere. Jeg hadde klikk veldig høyt, men har gått over til å ha lavere klikk senere. Jeg har også litt tracks i lyttingen.*
7. Skruer du opp nivået på IEM mellom lydprøve og konsert?
– *Jeg tror det. Jeg rider ann (IEM-lyttingen) ganske mye, og er ganske aktiv på lyttenivåene. Jobber med lyttenivået hele tiden.*

E.3 Intervju fra forsøksperson C

1. Hvilket instrument spiller du?
– *Bass, vokal*

Det ble målt flere målinger over 100% av grenseverdien for støydose satt av arbeidsmiljøloven. En dose over 100% kan potensielt skade hørselen din. Din høyeste målte dose var på 1765% på bergen-konserten, som også var den høyeste dosen målt blant forsøkspersonene. 7 av 10 målinger hos deg var over 100%.

2. Tror du det kan stemme at lydnivåene du ble utsatt for var skadelige?
– *Ja.*
3. Har du opplevd ringing i ørene etter konserter?
– *Ja.*
4. Tror du at du kunne spilt konsertene med lavere lytting og fortsatt gjennomført konserten med en like god prestasjon?
– *Ja (med rett lytting, med publikum og "romfølelse").*

-
5. Hva tror du at du kunne gjort for å begrense lydnivåene du ble utsatt for?
– *Bedre øreplugger som sitter sikrere, lengre monitorsjekk, mindre stigma mot "flisespikk" under monitorsjekk. Tror også øreklokker (Over-ear lyddemping) kan hjelpe? Det er også viktig å bruke limiter. Tror også det kan være lurt å sørge for at om man har skrudd recieveren på 100% volum, er det fortsatt et nivå som ikke er farlig. Tror jeg stilte min til typ 80% og økte (både med og uten vilje) under turné-en.*
 6. Hvilke instrumenter har du vanligvis i lyttingen din?
– *litt av alt, fremtredende bass og egen vokal, boosta trommer (spess hi-hat). mindre av resten av bandets vokal (inkl. hovedvokal)*
 7. Skrur du opp nivået på IEM lyttingen mellom lydprøve og konsert?
– *Gjorde det flere ganger under turnéen*
 8. Har du noe annet å tilføye?
– *Nop!*

E.4 Intervju fra forsøksperson D

1. Hvilket instrument spiller du?
– *Trommer, vokal*

Det ble ikke målt en verdi over av grenseverdien for støydose satt av arbeidsmiljøloven hos deg. Din høyeste målte dose var på 35% på bergen-konserten.

2. Tror du det kan stemme at lydnivåene du ble utsatt for ikke var skadelige?
– *Det er vanskelig å si. Jeg vet at jeg er veldig forsiktig med lydnivåene. Jeg kan i alle fall si at jeg tror det stemmer at jeg ble utsatt for endel mindre lydnivåer enn de andre forsøkspersonene*
3. Har du opplevd ringing i ørene etter konsserter?
– *Ja det har jeg*
4. Tror du at du kunne spilt konsertene med lavere lytting og fortsatt gjennomført konserten med en like god prestasjon?
– *Ja, det tror jeg, men det ville nok krevet øving med lavere lytting i forkant av turné-en.*
5. Hva tror du at du kunne gjort for å begrense lydnivåene du ble utsatt for?
– *Jeg tror at propper med mer passiv dempning hadde gjort det lettere å begrense lydnivåene. Jeg bruker noen ganger dobbelt hørselsvern på øvinger, altså både øreklokker og IEMs, for å fjerne mer ambiens. Jeg tror også at lyttingen vi hadde på turné-en var dårlig "mikset", og at en bedre monitortekniker hadde gjort det lettere å skru ned lyttingen. Lyttingen var relativt uklar på turné-en.*
6. Hvilke instrumenter har du vanligvis i lyttingen din?
– *Jeg har kun det jeg må ha for å spille greit. Jeg har bass, hovedvokal og klikk høyest i monitor. Ellers har jeg litt skarptromme og endel stortromme i monitor (kan noen ganger være vanskelig å høre stortrommen). Gitarer har jeg nesten ikke, det samme med tracks og publikumsmikrofoner. Dette er for å begrense lydkildene i monitor slik at jeg hører det jeg må høre greit.*
7. Skrur du opp nivået på IEM mellom lydprøve og konsert?
– *Ja, alltid. Det er alltid mye mer ambiens på konsserter sammenlignet med lydprøve, så jeg må skru litt opp. Jeg har klikk på en egen fader, slik at jeg kun kan skru opp klikk. Ofte skrur jeg kun opp klikket, siden dette er det aller viktigste for meg å høre.*
8. Har du noe annet å tilføye?
– *Nei.*

